

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

ІНЖЕНЕРНО – ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

«На правах рукопису»
УДК 678.023.3

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Гондляр О. В. _____

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка (спеціалізація: Машини і технології пакування)

на тему: Вплив зони спаю на механічні властивості литих пластмасових пакувальних виробів

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ЛУ-81мн
(шифр групи)

Гур'єва Анна Олександрівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доц., к. т. н., доц. Сокольский О.Л.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

Факультет інженерно-хімічний

Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О. В. Гондлях

«__»_____2020 р

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Гур'єва Анна Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Вплив зони спаю на механічні властивості литих пластмасових пакувальних виробів

науковий керівник дисертації Сокольський Олександр Леонідович к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «16»_березня_2020 р. №_865-с_

2. Строк подання студентом дисертації 12.09.2020-

3. Об'єкт дослідження: процес двостороннього лиття під тиском полімерних виробів для галузі пакування з утворенням ліній спаю, з урахуванням температури форми та розплаву, швидкості впорскування та механічних властивостей матеріалу.

4. Предмет дослідження: порожнисті полімерні пакувальні вироби, отримані литтям під тиском з утворенням зони спаю.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Аналіз досліджень процесу лиття та утворення зони спаю. 2. Розроблення математичної моделі процесу лиття та властивостей зони спаю. 3. Моделювання процесу двостороннього лиття. 4. Моделювання властивостей полімеру у зоні спаю. 5. Планування та проведення повнофакторного числового експерименту. 6. Аналіз впливу факторів лиття на механічні властивості полімеру у зоні спаю.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: 1. Креслення термопластавтомату. 2. Аналіз попередніх досліджень. 3. Математична модель процесу лиття. 4. Математична модель орієнтації волокон та молекул. 5. Математична модель впливу орієнтації на механічні властивості. 6. Планування числового експерименту та його результати. 7. Результати моделювання процесу двостороннього лиття. 8. Аналіз впливу факторів лиття на ширину зони спаю. 9. Аналіз впливу ширини зони спаю на механічні характеристики зразка. 10. Аналіз процесу лиття пакувального виробу з утворенням зони спаю.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 стаття, 1 тези

8. Дата видачі завдання 01.09.2018

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних і патентних джерел з проблематики дисертації. Формулювання завдань теоретичних досліджень.	01.09.2018-01.12.2018	виконано
2	Підготовка розділу 1 дисертації, 1 теза	03.02-20.03.2019	виконано
3	Розробка методики експериментальних досліджень	01.09.2019-15.12.2019	виконано
4	Розробка математичної моделі	01.02.2019-01.12.2019	виконано
5	Числове моделювання властивостей полімеру у зоні спаю	01.02.2019-01.06.2019	виконано
7	Проведення повнофакторного числового експерименту	01.02-10.03.2020	виконано
8	Аналіз отриманих результатів	01.09.2020	виконано
9	Підготовка статей до публікації, написання розділу охорони праці, виконання стартап проекту	01.04.2020-20.04.2020	виконано
10	Формулювання висновків, підготовка презентації дисертаційної роботи	01.04.2020-20.04.2020	виконано

Студент

(підпис)

_____ А.О. Гур'єва _____

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

_____ О.Л. Сокольський _____

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

УДК 678.023.3

Магістерська дисертація «Вплив зони спаю на механічні властивості литих пластмасових пакувальних виробів» / А.О. Гур'єва КПІ ім. Ігоря Сікорського; н. керівник О.Л. Сокольський. Робота містить: 112 стор., 23 рис., 16 табл., 1 дод., 18 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: процес двостороннього лиття під тиском полімерних виробів для галузі пакування з утворенням ліній спаю, з урахуванням температури форми та розплаву, швидкості впорскування та механічних властивостей матеріалу.

Предмет дослідження: порожнисті полімерні пакувальні вироби, отримані литтям під тиском, та обладнання для здійснення процесу лиття.

Мета роботи: аналіз чинників утворення спаїв та механічних характеристик литих пластмасових пакувальних виробів під дією таких факторів, як температура розплаву та форми, швидкість впорскування у форму для того аби мінімізувати зниження механічних характеристик виробів в області з'єднання потоків розплаву.

Результати роботи та їх новизна. У результаті виконаних у дисертації досліджень вперше отримані такі наукові результати:

- 1) Розроблено математичні моделі течії полімеру при двосторонньому литті, орієнтації молекул та волокон, впливу орієнтації на механічні властивості полімерного виробу.
- 2) Досліджено вплив таких факторів, як температура розплаву та форми, швидкість вприску та тиск на величину зони змінених властивостей.
- 3) Встановлено вплив величини зони змінених властивостей на механічні характеристики полімерного виробу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у такому:

- 1) Розроблено емпіричну формулу залежності ширини зони зниженої міцності від дії параметрів лиття.

2) Встановлено комбінації факторів, за яких мінімізується зниження механічних властивостей зони спаю.

За темою дисертації опубліковано 5 статей.

Ключові слова: ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ; ЛІНІЯ СПАЮ; МІЦНІСТЬ;
МОДЕЛЮВАННЯ

ABSTRACT

UDK 678.023.3

Master's thesis " Influence of the connection zone on the mechanical properties of cast plastic packaging" /. Hurieva A. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. scientific director Sokolskyi A. The manuscript contains: 112 p., 23 fig., 16 tabl., 1 appendix, 18 reference.

Object of research: the process of two-sided injection molding of polymer products for the packaging industry with the formation of junction lines, taking into account the temperature of the mold and melt, injection rate and mechanical properties of the material.

Subject of research: hollow polymeric packaging products obtained by injection molding, and equipment for the casting process

Purpose: analysis of joint formation factors and mechanical characteristics of cast plastic packaging products under the influence of such factors as melt temperature and mold, injection rate into the mold in order to minimize the reduction of mechanical properties of products in the connection of melt flows.

The objective of the work are as a result, performed in the dissertation research for the first time obtained the following scientific results.

The results of the work and their originality. As a result of the research carried out in the dissertation, the following scientific results were obtained for the first time:

- 1) An empirical formula for the dependence of the width of the zone of reduced strength on the action of casting parameters is developed.
- 2) Combinations of factors for minimizing the reduction of mechanical properties of the joint zone are established

The practical significance of the results obtained is as follows:

- 1) An empirical formula for the dependence of the width of the zone of reduced strength on the action of casting parameters is developed.

2) Combinations of factors for minimizing the reduction of mechanical properties of the joint zone are established.

5 articles have been published on the topic of the dissertation.

Keywords: INJECTION MOLDING; WELD LINE; STRENGTH; MODELING

ЗМІСТ

	Перелік умовних позначень.	10
	Вступ	13
1	Опис процесу лиття під тиском	16
	1.1 Процес лиття під тиском	16
	1.2 Опис роботи та конструкції базової литтєвої машини	17
2	Аналіз стану та моделювання лиття з урахуванням орієнтації	21
	2.1 Механізм утворення лінії спаю	21
	2.2. Моделювання течії полімерів	26
	2.3. Моделювання орієнтації молекул і волокон	34
3	Математичні моделювання течії з урахуванням орієнтації молекул і волокон	41
	3.1 Рівняння течії полімера	41
	3.2 Моделювання орієнтації	42
	3.3 Модель урахування зміни механічних властивостей.	45
4	Методика проведення числових експериментів.	48
	4.1 Факторний експеримент	48
5	Результати.	51
	5.1 Результати факторного експерименту.	51
	5.2 Перевірка достовірності обробки факторного експерименту	53
	5.3 Оцінка впливу ширини зони змінених властивостей на міцність виробу.	54
	5.4 Результати моделювання в програмному забезпеченні Moldex 3D.	57
	5.5. Аналіз ширини зони змінених властивостей на базі факторного експерименту.	61
	5.6 Моделювання пакувального виробу типу «кришка»	63
6	Вимоги до охорони праці при виготовленні полімерних виробів.	66
	6.1 Аналізи небезпечних та шкідливих факторів.	66
	6.2 Повітря робочої зони	67
	6.3 Виробничий шум.	68
	6.4 Вібрація.	69

6.5 Електробезпека.	71
6.6 Надзвичайні ситуації.	73
7 Розробка стартап-проекту.	77
7.1 Ідея стартап-проекту	77
7.2 Цільова аудиторія, клієнт.	77
7.3 Конкуренти.	77
7.4 Основна конкурентна перевага.	77
7.5 Етап життєвого циклу ринку та актуальність стартапу	78
7.6 Ресурси.	78
7.7 Аналіз факторів макромаркетингового середовища.	79
7.8 Аналіз факторів мікромаркетингового середовища.	81
Висновки.	84
Список використаної літератури.	85
Додаток А	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення:

ρ – густина;

t – час; сек;

σ - загальний тензор напружень;

g - вектор прискорення сили тяжіння;

P - тиск; Мпа;

η - в'язкість;

C_p - питома теплота;

T - температура; $^{\circ}C$

k - теплопровідність;

γ - швидкість зсуву.

$\psi(p)$ функція розподілу густини ймовірності по простору орієнтації.

\dot{A} матеріальна похідну від A .

W - тензор вихровості

D тензор швидкості деформації

ξ – форм-фактор частки.

$\psi(p)$ - розподіл ймовірної щільності функції над орієнтаційним простором.

$\dot{\gamma}$ –тензор швидкості деформації і її скалярна величина ;

I - тензор ідентичності;

p – зовнішній тиск;

V_0 – питомий об'єм зразку;

R – універсальна газова стала

v^a – компоненти вектора швидкості;

F^a – компоненти вектора щільності об'ємних сил;

u – внутрішня енергія;

δ_{ab} – символи Кронкера;

p і ρ – тиск і щільність рідини відповідно.

δ_{ij} є одиничний тензор і

α дорівнює 3 для тривимірної орієнтації.

ω_{ij} і γ_{ij} – швидкість і швидкість деформації тензори, відповідно,

$\dot{\gamma}$ – це узагальнена швидкість зсуву, що визначається так:

λ – параметр, пов'язаний з формою частинок.

$T_{розпл}$ Температура розплаву на вході: °C

V_0 Витрата розплаву:

ν_w Прилипання на стінці

T_w температурі форми:

Значення тиску інжекційного 50 МПа, тиск усадки 10 МПа,

E_f – модуль пружності волокон;

E_m – модуль пружності полімеру;

ψ – об'ємна доля волокон у матеріалі.

e – ексцентриситет еліпса

σ_f – межа міцності волокон;

σ_m – межа міцності полімеру.

де μ_f – коефіцієнт Пуассона для волокон;

μ_m – коефіцієнт Пуассона для полімеру.

Скорочення:

ІХФ – інженерно-хімічний факультет;

КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського;

ХПСМ – кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування.

ВСТУП

На сьогоднішній день широке застосування в різних областях техніки знаходять вироби з термопластів. Такі якості термопластів, як незначну питому вагу, низька теплопровідність, діелектричні властивості і відносна простота переробки, роблять їх незамінними матеріалами для виробів і конструкцій самого широкого призначення. Одним з основних методів переробки термопластів є лиття під тиском. Цим методом виготовляють різноманітні деталі машин і апаратів (корпусу, ручки, кільця ущільнювачів, арматуру, шестерні, гвинти, гайки), деталі, які використовують в електротехніці (вимикачі, клеми, плити, кожухи приборів, кнопки) і автомобілебудуванні (відбивачі фар, елементи внутрішнього обладнання салонів і ін.).

При подальшій експлуатації відформованих виробів з термопластів велике значення мають такі властивості, що визначають їх якість, як міцність, довговічність і естетичний зовнішній вигляд. Ці властивості, як зазвичай, погіршуються при наявності у виробах будь-яких дефектів, внесених при литті під тиском. До таких дефектів, в основному, відносяться смуги на по поверхні виробу, наявність нерозплавлених гранул термопласта, пригара, матовість, складки і лінії спаю. Всі ці дефекти, крім останнього, можуть бути повністю усунені за допомогою підбору таких параметрів режиму лиття, як температура розплаву, температура форми, швидкість уприскування, тиск і час витримки під тиском, час охолодження. Останній дефект – лінії спаю, як правило, є непереборним. Без внесення будь-яких змін в конструкцію формуючого інструмента лінії спаю, в більшості випадків, не можуть бути повністю усунені. Однак, їх властивості можуть бути поліпшені шляхом регулювання перерахованих вище параметрів режиму лиття.

Актуальність роботи полягає в тому, що через високу вартість литтєвих форм привела до необхідності створення методів проектування, прогнозування якості майбутніх виробів ще на стадії розробки формуючого інструмента. Такі методи дозволяють усунути ризик появи браку. Можливо більш повна

інформація про наявність у виробі таких дефектів, як лінії спаю, потрібна конструктору форми ще до того, як вона виготовлена, з тим, щоб він міг внести відповідність зміни в її конструкцію. Роблячи прогностичну оцінку ступеня зниження міцності деталі в околиці лінії спаю, конструктор може не враховувати наявності ліній спаяний, якщо зниження міцності не велика, і навпаки, зобов'язаний внести зміни в конструкцію форми і, може бути, в конструкцію виробу, щоб уникнути неприпустимою ступеня зниження міцності

Метою досліджень є аналіз чинників утворення спаїв та механічних характеристик литих пластмасових пакувальних виробів під дією таких факторів, як температура розплаву та форми, швидкість впорскування у форму для того аби мінімізувати зниження механічних характеристик виробів в області з'єднання потоків розплаву.

В магістерській дисертації виконані розрахунки моделювання процесу лиття в системі Moldex3D та Moldflow.

Для проведення необхідних розрахунків було задано граничні та початкові умови:

- Форма і розміри формуючої порожнини;
- Температура розплаву та стінок форми;
- Максимальний тиск інжекції та усадки.

Об'єкт дослідження. Процес двостороннього лиття під тиском полімерних виробів для галузі пакування з утворенням ліній спаю, з урахуванням температури форми та розплаву, швидкості впорскування та механічних властивостей матеріалу.

Предмет дослідження. Порожнисті полімерні пакувальні вироби, отримані литтям під тиском, та обладнання для здійснення процесу лиття.

Наукова новизна: Розроблено математичні моделі течії полімеру при двосторонньому литті, орієнтації молекул та волокон, впливу орієнтації на механічні властивості полімерного виробу. Досліджено вплив таких факторів, як температура розплаву та форми, швидкість вприску та тиск на величину зони

змінених властивостей. Встановлено вплив величини зони змінених властивостей на механічні характеристики полімерного виробу.

Практичне значення роботи: розроблено емпіричну формулу залежності ширини зони зниженої міцності від дії параметрів лиття. Встановлено комбінації факторів, за яких мінімізується зниження механічних властивостей зони спаю

Досліджено вплив таких факторів, як температура розплаву та форми, швидкість вприску, та тиску і величина зони змінених властивостей

Зв'язок роботи з науковими програмами кафедри. Магістерська дисертація відповідає науковому напрямку кафедри ХПСМ.

Особистий внесок автора. Всі результати, які представлені у роботі, були виконані автором з допомогою керівника.

Робота містить: 112 стор., 23 рис., 16 табл., 1 дод., 14 літературних джерел.

1 ОПИС ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

1.1 Процес лиття під тиском

Лиття під тиском - один з найбільш популярних методів переробки пластмас, який полягає в заповненні оформлюючої площини форми через ливниковий канал розплавленим полімерним матеріалом з послідовним його ущільненням і фіксацією форми за рахунок охолодження. Цим методом переробляються практично всі термопластичні матеріали, термореактивні матеріали і більшість марок гумових сумішей. Лиття під тиском дозволяє отримати вироби складної форми з арматурою, з елементами точних розмірів, з мінімальним «облоєм» [1].

Ливарний цикл виготовлення виробу менший від циклу пресування. Процес лиття під тиском легко автоматизується, що дозволяє знатно підвищити ефективність виробництва в порівнянні з іншими методами [2, 3].

Переваги і недоліки методу

Висока продуктивність; висока якість поверхні; точні розміри литого виробу; мінімальна потреба в механічній обробці виробу; низька пористість виробу; висока щільність виробу; багаторазове використання ливарних форм; можливість комплексної автоматизації виробничого процесу

Одним з важливих переваг способу лиття під тиском є можливість отримання армованих виливків. Використання при заливці вставок дозволяє вирішити безліч конструкторських завдань: отримання виливків з місцевим збільшенням міцності деталі; надання окремим елементам виливки особливих фізико-технічних властивостей (зносоустійкості, електро-, теплопровідності, електромагнітних властивостей і т.п.); конструювання вузлів, що складаються з різних матеріалів; формоутворення складних внутрішніх порожнин, системи розгалужених, вигнутих каналів і т.д.

Недоліки: обмежена складність конфігурації виливки (пов'язана з тим, що при відділенні виливки від ливарної форми можуть відбуватися пошкодження);

обмежена товщина виливки (розплав рівномірно твердне, якщо виріб тонкий); високу вартість прес-форм, складність і тривалість їх виготовлення; невисоку стійкість прес-форм, особливо при литті полімерів з високою температурою плавлення; труднощі виконання виливків зі складними порожнинами; невіддатливість металевої форми, що сприяє появі напруг у виливках при охолодженні [4]; тому полімер для лиття під тиском повинні мати вузький інтервал кристалізації, високу рідинних є і достатню міцність і пластичність [5].

Зазначені недоліки, що відбуваються в більшості випадків в результаті неправильного конструювання деталей або застосування неправильної технології, в практичних умов не служать причиною відмови від лиття під тиском.

При вживаних в даний час режимах лиття і ливникових системах ці недоліки зведені до мінімуму і практично не впливають на експлуатаційні властивості більшості тонкостінних деталей.

Литтєві машини у відповідності до конструкцій механізму пластикації поділяються на машини з поршневою і черв'ячною пластикацією. .

1.2 Опис роботи та конструкції базової литтєвої машини

Базовими вузлами термопласт-автомату (Рис 1.1) є інжекційний механізм на базі черв'ячного пластикатора механізму замикання-розмикання прес-форм, який являє собою чотирьохколонний горизонтальний прес із важільно-гідравлічним приводом.[6].

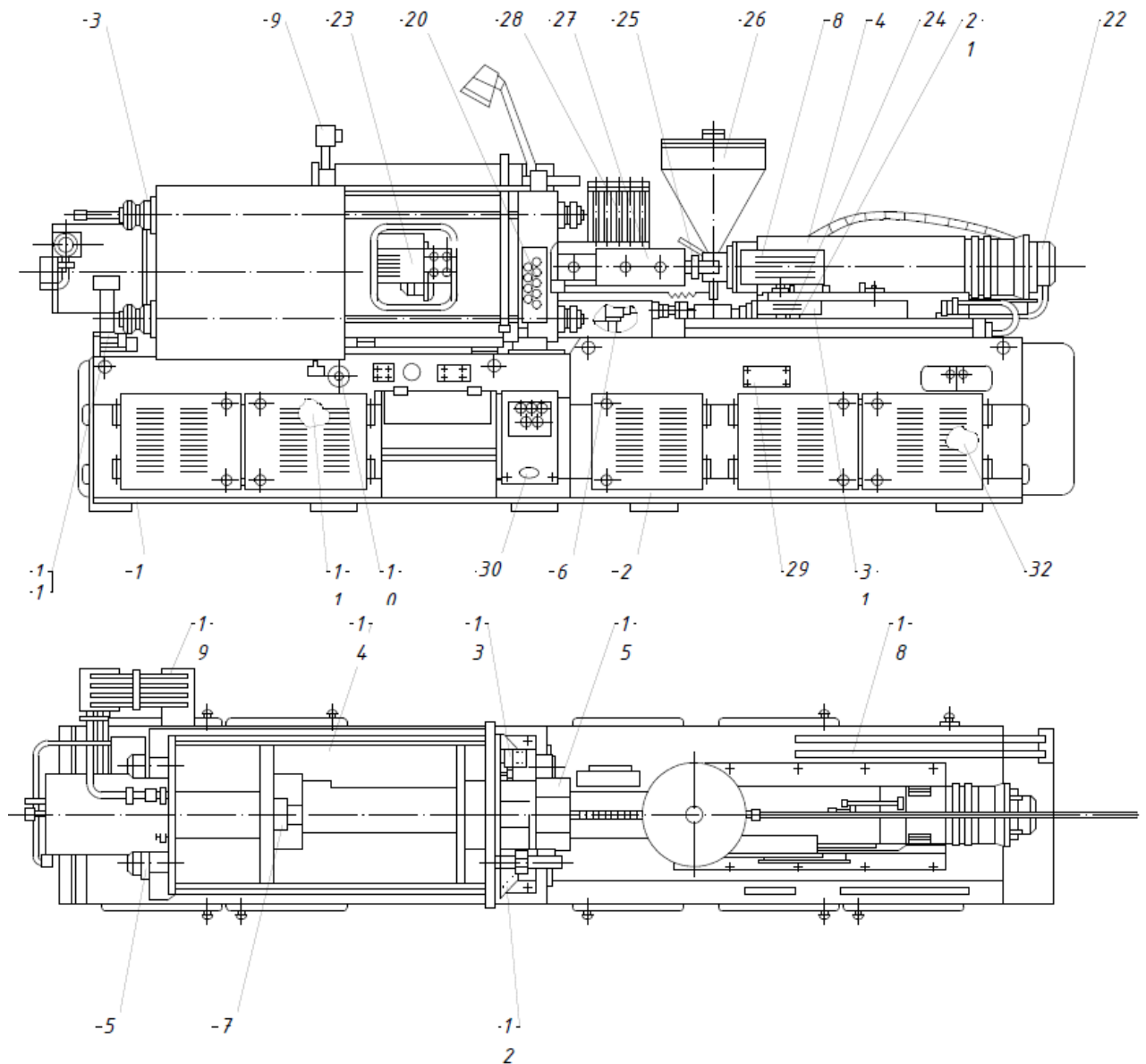


Рисунок 1.1 – Схема термопласт-автомату

Механізм інжекції встановлений на направляючих станинах з можливістю зворотно-поступального переміщення відносно пів-форми, закріпленої на розміщеній зі сторони інжекційного механізму нерухомій плиті механізму замикання. Переміщення механізму інжекції для підводу і ущільнення сопла матеріального циліндра з ливниковою системою пів-форми, а також подальший його відхід від півформи здійснюється механізмом переміщення (гідроциліндром).

Операції підготовки (пластикації) і інжекції матеріалу у форму здійснюється в пластикаційно-іжекційному матеріальному циліндрі черв'яком,

який має змогу переміщуватись в осьовому напрямі поряд з можливістю обертання. Це забезпечується двома роздільними гідроприводами: приводом обертового руху черв'яка, змонтованого на базі гідромотору і шліцьового з'єднання через проміжний вал опірною підшипника, і приводом інжекційного руху – руху черв'яка в осьовому напрямку від завантажувального отвору до ливникового каналу матеріального циліндру. Привід інжекційного руху черв'яка виконаний на базі кінцевого гідроциліндру, плунжер якого через підшипниковий вузол осьового опору шліцьового проміжного вала з'єднаний з черв'яком.

Момент завершення набору потрібної порції фіксується за осьовим положенням черв'яка. При цьому привід обертання черв'яка вимикається, а вмикається підвід інжекційного механізму і привід інжекції, внаслідок чого черв'як швидко переміщується в напрямі ливникового каналу, впорскуючи матеріал у форму. Для запобігання зниженню тиску лиття внаслідок потоку підготовленого матеріалу каналом черв'яка в зворотному напрямі, на черв'яку змонтовано зворотній клапан.

1.2.1. Механізм замикавання пів-форм

Механізм замикавання півформ змонтовано на 4-х колонах 15, на яких жорстко кріпиться передня нерухома плита 7, задня нерухома плита 16 і середня нерухома плита 17. По колонам поступально переміщується рухома плита 8 з півформою 5. Нерухома півформа 4 (матриця) кріпиться болтами на передній нерухомій плиті 7.

Поступальне переміщення півформи здійснюється важільним механізмом, який включає важелі 9, 10 та тяги 11, які з'єднані з диском 12, який пересувається в осьовому напрямку за допомогою гідроциліндра замикавання 14, який жорстко закріплений на задній нерухомій плиті 16. На середній нерухомій плиті 17 встановлені шарніри важелів 10. Аналогічні шарніри є на рухомій плиті 8.

На початку циклу півформи знаходяться у зімкнутому стані і здійснюється кінцеве охолодження і затвердіння виробу в формуючій порожнині. В момент закінчення терміну охолодження в лівій частині гідроциліндра замикання створюється тиск 5МПа і відбувається розмикання півформ з одночасним виштовхуванням виробу. При цьому шток 13 з диском 12 переміщуються в крайнє праве положення. Тяги 11 в такому стані стають вертикально, а важелі 9 та 10 стають під кутом 90*.

Відбувається перемикання подачі гідравлічної рідини в гідроциліндр замикання за допомогою золотників та послідовне переміщення штока 13 гідроциліндра 14 в крайнє ліве положення. Диск 12 тягне тяги 11 в крайнє складене положення. При цьому важелі 9 та 10 лягають в пряму лінію і на лінії роз'єму півформ 3 та 5 створюється максимальне запірне зусилля, при якому гарантується герметизація формуючої порожнини прес-форми. На протязі всього часу застигання розплаву в формуючій порожнині півформи перебувають в зімкнутому стані.

1.2.2 Пластикаційно-інжекційний вузол

Механізм інжекції встановлений на салаках і має можливість рухатись в осьовому напрямку по направляючим, змонтованим на корпусі ТПА. Це пересування відбувається під дією двох гідроциліндрів 6 запирання сопла 3. Циліндр пластикації 23 прикріплений до передньої нерухомої плити 22 на різьбі. Передня нерухома плита 22 жорстко з'єднана з задньою нерухомою плитою 19 за допомогою двох колон 18. Гідроциліндр інжекції 20 кріпиться до плити 19. Шток гідроциліндра інжекції 24 жорстко зв'язаний з гідромотором 21, консоль 25 якого має можливість осьового переміщення по колоні 18. Шлицева втулка охоплює шлицевий вал черв'яка 1. У верхній частині гідроциліндра 23 знаходиться горловина для завантаження матеріалу, до якої приварено патрубков, до верхньої частини якого за допомогою фланцевого з'єднання кріпиться бункер. В лівій частині циліндра на різьбі кріпиться гайка,

всередині якої вільно пересувається сопло, переміщення якого обмежене буртом з однієї сторони, і заглушкою – з іншої.

На кінці черв'яка вкручено хрестовину, на якій пересувається запірне кільце.

2. АНАЛІЗ СТАНУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЛИТТЯ З УРАХУВАННЯМ ОРІЄНТАЦІЇ

2.1 Механізм утворення лінії спаю

Спаї є характерною ознакою багатьох виробів з термопластичних полімерних матеріалів (надалі - ПМ), що виготовляються литтям під тиском, і в більшій чи меншій мірі спричиняють погіршення зовнішнього вигляду виробів, їх розмірної точності, короткочасних і довготривалих механічних властивостей, а також небажаної зміни їх теплофізичних, електричних та інших характеристик. Тим не менш, у багатьох випадках не вдається уникнути появи спаїв в литих виробах з ПМ. Однак більш глибоке знання механізму і закономірностей появи лінії спаю, впливу на їх властивості технологічних параметрів лиття, конструкції вироби і литтєвих форм, а також інших факторів допомагає звести до мінімуму негативний вплив лінії спаю на якість литих виробів з ПМ [7].

2.1.1 Поява лінії спаю

Під лінією спаю розуміють область в об'ємі литого виробу, яка відповідає місцю зустрічі потоків розплаву ПМ при заповненні ним литтєвої форми. Традиційно розглядають два типи спаю: спай «в один дотик» (melt line, meld line, streaming weld line) або, інакше, гарячий спай (hot weld) і спай «встик» (weld line, butt weld) або холодний спай (cold weld). У літературі, присвяченій цим питанням, застосовувалися різні критерії визначення типів спаїв.

У більшості робіт враховувалося, що найважливішим фактором, що сприятливо впливає на властивості спаю, є течія розплаву і пов'язане з ним дисипативне тепловиділення в околицях спаю в процесі і після його формування. Триваюча течія у внутрішніх шарах поблизу спаю після зустрічі фронтів потоків розплаву, як це відбувається при утворенні спаю «в один

дотик», призводить до більш повільного охолодження ПМ. Якщо ж течія розплаву і відповідно дисипація тепла в області спаю припиняються відразу після його утворення, говорять про спай «встик». Раніше дана класифікація використовувалася по відношенню до спаям в цілому. Пізніше цю термінологію стали застосовувати до окремих ділянок спаю, використовуючи як критерій кут сходження потоків.

При заповненні порожнини ливарної форми розплавленим полімером потік розплаву може зустрічати на своєму шляху перепони, вставки і т. д., які змушений обтікати. При цьому відбувається його поділ на кілька окремих потоків. Ці потоки обтікають перешкоду і потім знову з'єднують ся. У місцях їх з'єднання утворюються так звані «спаї». Зазвичай, «спаї» можна легко виявити по характерному дефекту на поверхні готового литого виробу у вигляді так званої «лінії спаю» або «лінії зварювання» (англійські терміни: "knit line" і "weld line"). Спаї утворюються так само і при наявності декількох впуску розплаву в порожнину форми, коли вже відразу існують окремі потоки розплаву. Якщо вставка розташована в порожнині форми таким чином, що існує можливість для спільної течії вже об'єднаних потоків «одним фронтом», або, якщо впуску у багатовпускной формі розташовані близько один до іншого, то виникає «спай, утворений на початку заповнення форми», так званий «гарячий спай».

Спаї можуть утворюватися і внаслідок виникнення випереджальних потоків через різновисочинні вироби, наявності виступів і ребер. Наприклад, якщо виріб має тонкостінну частина типу оболонки і товстостінні ребра, то, внаслідок меншого гідравлічного опору ребер, в них можуть виникнути потоки розплаву, що випереджають потік в тонкостінній частині. При цьому відбувається як би "злам" єдиного фронту розплаву з наступним «трісканням» окремих частин фронту і утворенням поверхні спаю.

В умовах сталої течії спай виникає при фронтальному з'єднанні потоків розплаву. Як відомо, течія на фронті потоків розплаву термопласту має особливий характер і називається «фонтанною» течією. Схема отримання лінії

спаю з урахуванням фонтанної течії при русі двох потоків і їх зустрічі представлена на рис. 2.1.

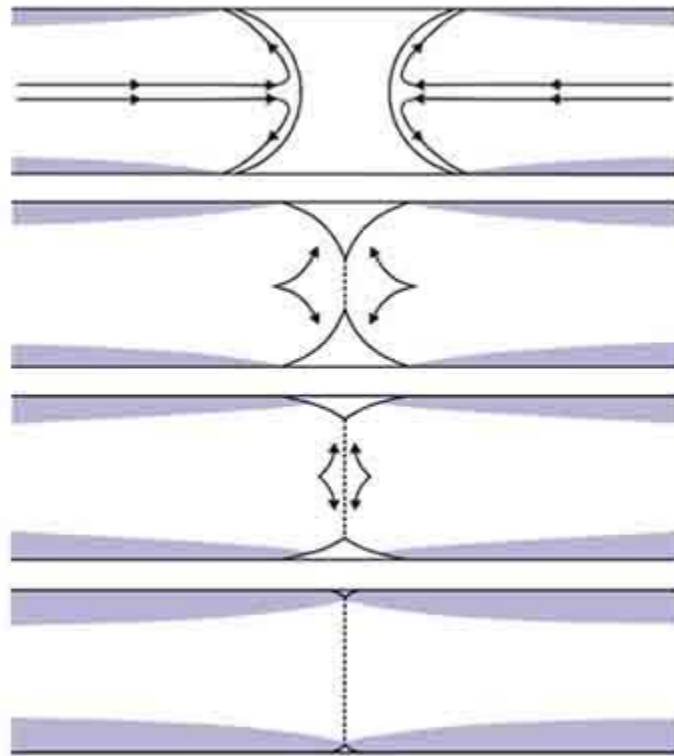


Рисунок 2.1 – Схема послідовного утворення лінії спаю (стрілками вказані напрями руху течії)

Після застигання приповерхневих шарів полімеру, прилеглих до спаю, внутрішня область спаю все ще зберігає рухливість, і її просторова конфігурація визначається градієнтом тиску в литтєвій порожнини, який залежить від збалансованості заповнення. При незначній незбалансованості заповнення відбувається дуже швидке (майже миттєве) наростання тиску в тій області виробу, яка заповнюється в першу чергу, що призводить до викривлення поверхні контакту потоків.

Властивості конкретної області спаю визначаються змінними в часі локальними умовами її формування, такими як швидкість течії, температура, тиск і ін. Характер зміни даних умов залежить не тільки від технологічного режиму лиття, а й від геометрії виробу і литтєвої системи, а також від розташування області спаю у виробі. Через особливий характер течії розплаву в

області спаю його іноді розглядають як одну з форм нестійкої течії. Вироби з прозорих аморфних полімерів демонструють в області спаю підвищене подвійне променезаломлення, що свідчить про високі залишкові напруження. Необхідно враховувати, що аномалія оптичних властивостей поширюється на всю область контакту потоків розплаву, а не тільки на видиму лінію спаю.

При охолодженні розплаву кристалізуються полімерів в області спаю формується кристалічна структура, яка має більш-менш значні відмінності від структури інших областей литого виробу. При цьому ступінь кристалічності і розміри надмолекулярних утворень залежать від хімічної природи полімеру, присутніх добавок, умов течії і охолодження в конкретній області спаю. Відомо, що у полімерів, що утворюють різні кристалічні модифікації, наприклад у ізотактичного поліпропілену, в області спаю спостерігається аномальне співвідношення поліморфних модифікацій, помітно різняться по механічним та іншим експлуатаційним характеристикам. Неоднорідність процесів кристалізації в чому визначає нерівномірність усадки полімеру і тим самим робить негативний вплив на властивості спаю. Різка зміна характеру течії розплаву в області спаю призводить до яскраво вираженої структурної неоднорідності двофазних полімерних систем і полімерів з молекул і деякими типами дисперсних наповнювачів. Погіршення зовнішнього вигляду і зниження міцності спаїв при литті двофазних сополімерів і сумішей полімерів в області спаю пов'язано, в тому числі, з неоднорідним розподілом і орієнтацією дисперсної полімерної фази.

Скляні та вуглецеві молекули, а також інші молекулярні наповнювачі можуть орієнтуватися при литті під тиском уздовж (в пристінних шарах) або поперек (при радіальному розподілу, зустрічній течії, а також на фронті потоку) напрямки розтікання розплаву. Їх орієнтація в литві визначається напрямом деформацій розплаву.

Фонтанна течія на фронті потоку є причиною орієнтації молекул в напрямку товщини виробу. В області спаю спостерігається різка зміна

орієнтації молекул, що призводить до погіршення зовнішнього вигляду і експлуатаційних характеристик виробу.

2.1.2 Міцність спаю

Зазвичай спай є найслабшим місцем литого виробу, що проявляється при різних механічних випробуваннях. Розглянемо вплив спаю на властивості міцності виливків при розтягуванні. Міцність спаю зазвичай характеризують його відносною міцністю, яка представляє собою відношення міцності (або межі текучості) зразка зі спаєм до міцності (або межі текучості) зразка без спаю, виражене в частках або відсотках. Міцність спаїв при розтягуванні вивчають на зразках у вигляді лопаток, які відливають в спеціальних формах відповідно з двома або одним впусканням або вирубують із реальних виробів. Випробувані зразки дозволяють врахувати вплив геометрії виробу і розташування місць впуску, а також орієнтаційні ефекти.

Зовнішній вигляд спаю залежить головним чином від процесів, що протікають в поверхневому шарі полімеру, в той час як основні явища, що впливають на міцність спаю, відбуваються у внутрішній частині литевої порожнини. Тому іноді, навіть при незадовільному зовнішньому вигляді, спай може бути порівняно міцним, і навпаки, спай з гарним зовнішнім виглядом може мати низьку міцність.

У реальних výroбах міцність спаю залежить від площі поверхні контакту потоків, яка визначається просторовою конфігурацією внутрішньої області спаяний. Незбалансоване заповнення форми розплавом, небажане з точки зору розмірної точності, може, тим не менш, сприяти зміцненню спаїв, так як викликає викривлення і відповідно збільшення площі поверхні контакту потоків розплаву.

Більшість дослідників розглядають механізм утворення спаю з позицій теорії молекулярної дифузії і обумовлюють його міцність глибиною дифузії макромолекул через поверхню контакту потоків.

Передбачається, що дифузія відбувається тільки у внутрішній частині поверхні контакту, тоді як із зовнішньої частини існує область поганої пов'язаності потоків розплаву, що відповідає експериментальним

спостереженням. Так, при мікроскопічному дослідженні спаю на зрізах і поверхнях руйнування було встановлено, що з зовнішньої частини може існувати навіть розрив між потоками, іноді у вигляді явної тріщини, яка триває від підстави V-подібною канавки в глибину спаю. Глибина області поганої пов'язаності збільшується при підвищенні швидкості охолодження зони спаю. Ця модель орієнтації на молекули додатково переглядається для розрахунків на сітках середньої площини та подвійних доменів.

2.2. Моделювання течії полімерів

S. C. Malguarnera [8] в своїй роботі досліджує структури та властивості зварювальних ліній у формованих формах. В основу досліджень було покладено питання властивості розтягування зразків з обох кінців одночасно утворюючи наближення області зварного шва майже в центрі довжини каліброваного зразка. Ці випробування таким чином імітують зварні шви, утворені в багато захисних частинах. У випробуваннях було показано, що використана форма досліджували ефекти температури розплаву, температури цвілі, тиск і швидкість впорскування загального призначення полістирол (GPS), полістирол з високим впливом (HIPS) і ізотактичний поліпропілен (PP), що використовується загалом цільове формування. Однак у напів кристалічному матеріалі, як поліпропілен, інші умови обробки – впливають на механічні показники зварних областей.

Експеримент проводився таким чином: при формуванні зразків був змінним лише один параметр, а всі інші параметри залишаються постійними. Потім половина кожного набору зразків відпалювали в духовій шафі для повітря 150 °C протягом однієї години. Інша половина не була відпалена і, таким чином, були випробувані "як формовані". Усі екземпляри відібрані для тестування були зібрані тільки після формування. Інструмент досяг стабільних умов. Зразки були підготовлені, вони були випробувані в In-stron Модель 1125 – машина для випробування на розтяг. Усі дані читалися безпосередньо з в

самописця на машині. Випробування на розтяг проводилися на швидкості 5 об./хв. Було використано в середньому чотири зразки. За допомогою цієї техніки крива відхилення навантаження могла бути визначена і тоді відображається у вигляді номінальної кривої напруження напруги.

Температура розплаву

Ефекти від температури розплаву на межі текучості. В інших умовах обробки були проведені експерименти на постійному рівні. Цим фактором зіграла підвищене напруження при збільшенні температури розплаву в обох відпалених зразках і не відпаленого. Однак відпал, як правило, знижував напруження у зведеному матеріалі та збільшує цю властивість у необроблених зразках. Нуклеаційні реагенти є нормальними тикулатами, які служать для ініціації росту кристалів. Кристали нуклеації виступають від таких неоднорідностей і низьких температур. Зростання кристалів з іншого боку залежить від високих температур. Більш тонка морфологія має тенденцію до покращення механічних властивостей порівняно з аналогічним матеріалом без такого реагенту.

Зазвичай відпал служить для полегшення внутрішнього напруження, пов'язані з циклом формування, і таким чином покращує механічні властивості смоли. Механічні властивості зменшуються при відпалі. Це ймовірно, пов'язано з зі зміною морфології, викликані з допомогою циклу відпалу. Зростання кристалів триває протягом циклу відпалу, що веде до більш грубої структури і дещо нижчі механічні властивості. Таким чином, при належній кількості зменшених залишкових напружень компенсуються вбудованими-зростаюче зростання кристалів у випадку з нуклеїнованими матеріалами. Ядерний матеріал навіть у відпаленому стані, показує більш високу напругу, за винятком низького плавлення температури, де ядерність домінує навіть у необроблених матеріалах.

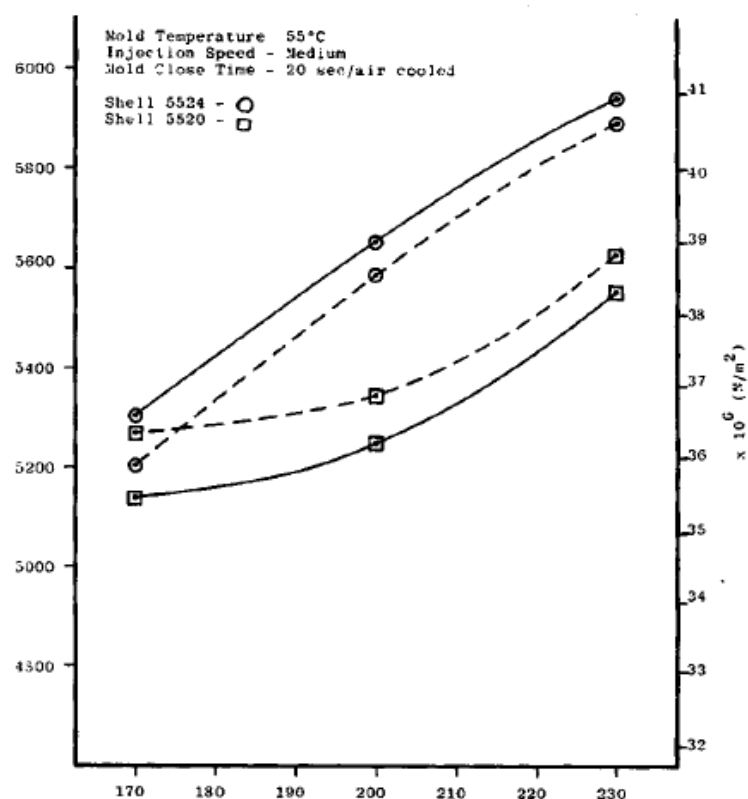


Рисунок 2.2 – Межа текучості зварних швів для зразків з низьким показником плавлення розплаву

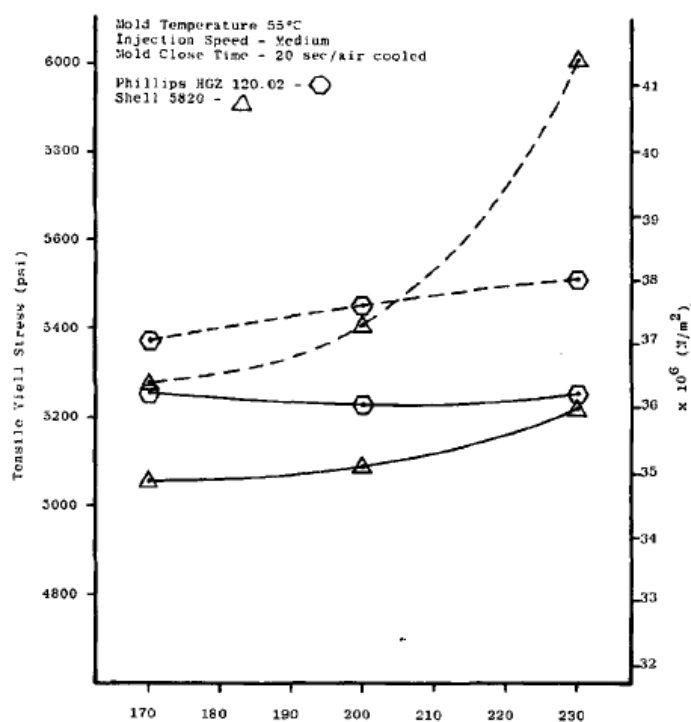


Рисунок 2.3 – Напруження при розтягуванні зразків зварних швів при температурі плавлення для зразків високого показника плавлення

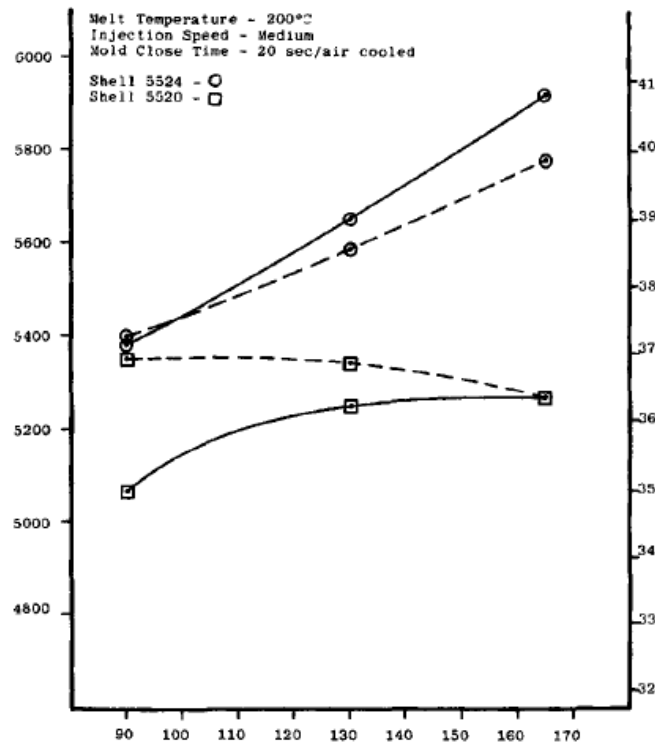


Рисунок 2.4 – Напруження при розтягуванні зварних зразків при температурі прес-форми для зразків з низьким показником плавлення

Дане дослідження призводить до наступних висновків: міцності зварних ліній з поліпропілену залежить від відпалу, що збільшує ширину шва міцності у всіх, крім нуклейованих матеріалів. Підвищена температура розплаву поліпшила зварювання межі міцності в матеріалах з низьким показником плавлення, але вони не мали настільки значного ефекту при високому розплаві. Зросла температура плавлення, зросла міцність зварного шва у всіх матеріалах, окрім тих виробів що мали найбільший ефект на «як формовані» екземпляри. Підвищена швидкість вприску при низькій температурі плавлення покращили міцність зварювання при низькому показнику плавлення матеріалів, але значно меншою мірою, ніж у попередніх двох факторів. Швидкість охолодження, здавалося, мало впливає на міцність і на зварювання всіх матеріалів, крім низького показника розплаву. Досить дивний результат пов'язано з взаємодією зародження агент і температура на кінетиці кристалізації [8].

Хуан-Чанг Ценг в своїй роботі [9] досліджує армовані термопластичні композиційні матеріали, завдяки відмінним механічним властивостям. Однак мікроструктура волокон є складним питанням, в тому числі – орієнтація волокон, довжина волокон і концентрація волокон, що призводить до анізотропії в механічних властивостях та несподіваного перекосу формованих деталей. Таким чином, ця робота спрямована на детальний прогноз мікроструктури волокон на основі класичного наповнення прес-формою з імітацією центрального диска. Також досліджували відомі оболонки – стрижневу структуру орієнтації волокна щодо довжини волокна та концентрації волокна. Окрім того, поведінка міграції волокна представлена за допомогою передбачуваної концентрації волокна розповсюдження. Отже, прогнозні результати добре узгоджуються із суміжними експериментами. Такий доступний метод моделювання буде корисним для проектування деталей, що були виготовлені методом лиття під тиском.

Ще більш складною є суспензійна в'язкість волокон, занурених у в'язко-пружні та зсувні розрідження полімерного розплаву, що безпосередньо впливає на поведінку потоку. Відносна в'язкість (співвідношення в'язкості суспензії до в'язкості матриці) – це залежність від концентрації волокна. Оцінка концентрації є первинною перед визначенням в'язкості суспензії, що була викликана зсувом міграції частинок відносно концентрації частинок, була виконана за допомогою моделі балансування підвіски. Тому ця робота мала на меті зосередити увагу на трьох цілях.

Перша мета – досягти чисельного аналізу деградації волокна під час вприску, моделювання центрального диска представлено від стадії пластикації до заливки форми.

По-друге, було показано міграцію волокон, спричинену зсувом, використовуючи концентрацію волокна.

По-третє, далі реалізують відому структуру оболонки волокна по відношенню до довжини волокна і концентрацію волокон. Передумови теорії FRT: розплав являє собою концентровану суспензійну суміш, що складається з

волокон та полімерної матриці, як вважається узагальненою ньютонівською рідиною. Для повноти надано лише короткий опис теоретичної основи, що включає рівняння, що керують потоком, і волокно - підвісні моделі орієнтації волокна, стирання волокна та міграції волокон.

Останнім часом Tseng та ін. розробили нову модель орієнтації молекул [10], щоб поєднатись із гідродинамічною (HD) моделлю Jeffery's, а саме модель іARD-RPR (відома як Поліпшена анізотропна модель обертової дифузії у поєднанні з моделлю основного коефіцієнта сповільнення,)

Для чисельного прогнозування мікроструктури молекули (орієнтація молекул, довжина молекули, молекулрна концентрація) при литті під тиском центрального диска, було виявлено, що деградація волокна обумовлена скручуванням, що корелює з рухом зсуву від обертання гвинта молекулярною оболонкою [9].

У своїй праці Р. Селден [11] досліджував вплив обробки на міцність зварювальної лінії у п'ятих видах термопластів. Міцність зварних ліній вимірюється в п'яти інженерних видах термопластів. Ефективність параметрів обробки було вивчено за допомогою експериментальної конструкції. Чотири параметри: тиск, швидкість впорскування, температуру плавлення і температури вприску – варіювались у двох рівнях. Для кожного параметра визначали розташування лінії зварювання. Вимірювали міцність і порівнювали з міцністю суцільного матеріалу за допомогою коефіцієнта зварної лінії (Коефіцієнт WL), що визначається як міцність зразків з лінією зварювання / міцність зразків без лінії зварювання. Результати згинальних тестів як на заповнені, так і на незаповнені матеріали показали, що коефіцієнти зварних швів для холодних зварних ліній варіювали між 0,25 та 0,98 залежно від параметрів матеріалу та параметрів. Отримані найвищі WL-фактори та використовують високу температуру плавлення, високий тиск утримування та низьких температур вприску. Результати інструментальних випробувань на зниження ваги на шві інколи показували коефіцієнт WL, що перевищує 1,0.

Загалом було нерівне співвідношення між результатами тестів на удар і результатами згинальних тестів.

Зазвичай розрізняють два основні типи зварних ліній. Холодні або «стикові» зварні лінії утворюються, коли два потоки розплаву зустрічаються потоком до потоку приблизно 180 °C один до одного. Ніяких додаткових потоків не виникає після відновлення бінації. Цей тип дає найменшу міцність. Гарячі або "струмінні" лінії зварювання утворюються, коли дві більше або менше паралельних потоків розплаву рекомбінують у розплавлений потік після рекомбінації. Низька механічна міцність в зварних лініях, як правило, пояснюється:

- 1) несприятливою молекулярною орієнтацією,
- 2) недостатнє склеювання і
- 3) утворення V-вирізу.

Для заповнених матеріалів, найменшу міцність зварних швів отримують для крихких, аморфних полімерів: для холодних зварних ліній і для гарячих, порівняно зі значеннями об'ємної маси. Вищі значення зазвичай отримують для пластичного аморфного або кристалічних полімерів. Низька міцність зварної лінії в деяких заповнених або армованих матеріалів є добре відомою. А високе співвідношення сторін наповнювача зменшує міцність більш ніж низьке співвідношення сторін. Комп'ютерне моделювання заповнення форми тепер можуть використовуватися для прогнозування, де будуть утворюватися зварні лінії у деталі для лиття під тиском. Однак все ще важко передбачити міцність зварних ліній. Такі фактори, як розплав температури, швидкість введення, тиск, час витримки, і температура вприску впливатиме на зварювальну міцність лінії в різних ступенях для різних матеріалів. У цьому дослідженні міцність зварних ліній в п'яти інжекціях інженерного термопласта була помірною. Ефект від параметрів лиття під тиском був вивчений за допомогою експериментальної конструкції.

Матеріали:

Було обрано п'ять видів інженерних полімерів, які часто використовуються для несучого навантаження

- PA 6, з 35% скловолокна (GF) (Ultramid A3WG71, від BASF.
- PPS, з 40% GF, надзвичайно міцний (Ryton R-4CT), від General Electric.
- PP з 40% тальку (Hostacom M4 UO21, від Hoechst.
- PPO (Норіл 110) від General Electric.
- ABS, стійкий до температури (Novodur GMT), від Байєр.

Було проведено експерименти на згинання, розплав та розтяг і проаналізував отримані результати – було зроблено такий висновок, що:

Для PA (GF) видно, що найбільший вплив на WL-факторі буде отримано від інжекції до розташування та тиск витримування. Збільшення швидкості інжекції зменшується майже на 6%. при цьому тиск збільшується майже на 4%. Негативний ефект швидкості інжекції буде викликаний зменшенням в WL у поєднанні зі збільшенням в об'ємній міцності. Інші ефекти, наприклад, ефект температури розплаву, менші і не суттєві.

Для PPS (GF) в негативний ефект на WL-фактором є виходить, коли температура прес-форми і інжекційні швидкості збільшуються. Позитивним ефектом є підвищений тиск витримування. Негативний вплив температури вприску не очікувався, але було отримано для інших матеріалів, що також повідомлялося в інших місцях. Оскільки утворення зварної лінії є складний процес і такі фактори, як орієнтація і залишкові напруження можуть впливати на властивості в лініях зварювання, а також іноді можна отримати несподівані результати.

Для PP (тальк) підвищений тиск витримування впливає на коефіцієнт WL та лінію міцність зварного шва. Були також взаємодії: між тиском витримування та швидкістю вприскування, температури розплаву. Висока швидкість і зниження температури становили ефект підвищеного тиску. Для отримання PPO – це позитивний ефект від входів збільшилася швидкість інжекції на коефіцієнт WL. Це є через негативний вплив на об'ємну міцність при цьому вплив на WL-сила є дуже мала. Інші наслідки не суттєві.

Для ABS – це позитивний ефект від швидкості інжекції температура плавлення на коефіцієнті WL, інтенсивний вплив температури приску Для того щоб визначити оптимальний набір параметрів, для отримання більш високого коефіцієнта лінії зварювання, був зроблений простий розрахунок: для кожного матеріалу налаштування були різно-класифіковані щодо WL фактору, так що низький WL-фактор отримав низький ранг високою WL-фактор високого рангу [11].

2.3. Моделювання орієнтації молекул і волокон

Для прогнозування орієнтованого потоку за допомогою компактних тензорів орієнтації нам потрібне рівняння зміни (тобто рівняння еволюції) для тензорів орієнтації. Можна взяти матеріальну похідну рівняння 1 за допомогою рівняння Джефрі та рівняння неперервності, щоб потім отримати рівняння зміни тензорів орієнтації. У практичних формованих частинах термопласта, посилені короткими волокнами, є занадто багато волокон, щоб рідина вважалася рідинною розведеною суспензією, тому рівняння Джефрі стає недійсним. Орієнтаційний стан концентрованих суспензій аналогічний станам суспензій двопорядкованих.

Однак, оскільки об'ємна частка волокон збільшується, на стан орієнтації впливають взаємодії волокно-волокно. Дуже складно моделювати фіксаційну взаємодію волокно-волокно. Тож Фолгар і Такер запропонували феноменологічну модель. Вони додали дифузійне поняття до рівняння Джефрі, ввівши феноменологічний коефіцієнт для моделювання рандомізуючого ефекту механічних взаємодій між волокнами.

Хуан-Чанг Ценг, Юань-Чжун Чанг в своїй роботі [12] досліджують, на основі моделі Фолгар-Такер (FT), використання способу для визначення еволюції орієнтаційного стану короткої суспензії волокон.

Проблема з практичним потоком обробки волокон полягає у тому, що передбачувана тимчасова швидкість орієнтації відносно часу швидше, ніж експериментальна. Тому було запропоновано вдосконалену модель FT за

допомогою двох залежних від часу факторів ефективно уповільнити експериментальну швидкість. Крім того, ця вдосконалена модель добре застосовується для імітації процесу литтєвого формування прямокутної плити.

Таке тензорне подання може знизити обчислювальний час, порівняно з безпосередньо рішенням обчислення функції розподілу ймовірності. З відносно коротким потоком і швидкістю наповнення, перехідна швидкість орієнтації з часом вимірюваних у споріднених експериментах завжди було близько у двадцять разів повільніше, ніж прогнозована стандартна модель FT. Ця ситуація нещодавно була вирішена Ван та ін. [9], який запропонував інноваційну модель – модель зменшеного закриття. Дана модель враховує два тензори четвертого порядку, складається з тензора орієнтації другого порядку, власних значень та власних векторів.

Вільні волокна розглядаються як асиметричний зв'язок з жорсткістю. Одиничний вектор зв'язку p вздовж своєї осі напрямку може описувати орієнтацію волокна.

Еволюція часу стану орієнтації волокон для тензора другого порядку орієнтації A описується як стандартне рівняння орієнтації волокна Фольгар-Такер, що включає в себе обертальний, гідродинамічний та дифузний внесок у кількість орієнтації

У результаті, у вдосконаленій моделі FT, було спочатку представлено модель виконання затримки швидкості орієнтації волокна під класичними потоками, які включають: простий потік, площинне подовження потоку та розтягнення комбінованого потоку порівняно зі стандартними FT - моделями. По-друге, до вдосконаленій моделі FT застосовується імітування волокна, що протікає в процесі моделювання лиття за допомогою програми аналізу CAE Moldex3D [12].

Основні рівняння динаміки рідини: Рух ньютонівської в'язкої рідини в деякій області течії Ω описується рівнянням Нав'є – Стокса [9], рівнянням збереження внутрішньої енергії, а також рівнянням нерозривності і будь-яким рівнянням стану $p = p(\rho)$:

$$\rho \frac{dv^a}{dt} = \rho F^a - \frac{dp}{dx^a} + \mu \frac{\partial}{\partial x^b} (T^{ab}); \quad (2.1)$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{2} \frac{\mu}{\rho} T^{ab} T^{ab} - \frac{p}{\rho} \operatorname{div} v; \quad (2.2)$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\rho \operatorname{div} v, \quad (2.3)$$

де $a, b = 1, 2, 3$ – числові індекси координат;

v^a – компоненти вектора швидкості;

F^a – компоненти вектора щільності об'ємних сил; u – внутрішня енергія;

$T^{ab} = \frac{dv^a}{dx^b} + \frac{dv^b}{dx^a} - 2 \operatorname{div} v \frac{\delta_{ab}}{3}$ – компоненти тензора в'язучих напружень;

δ_{ab} – символи Кронкера;

p і ρ – тиск і густина рідини відповідно.

Однак для випадку лиття під тиском, гідродинаміка потоку призводить до того, що молекули лежать переважно у площині потоку. Їх здатність обертатися поза площиною сильно обмежена. Цей механізм передбачає, що ефект рандомізації орієнтації молекул а набагато менший у напрямку поза площиною, ніж у площині, отже, невелике значення D_z .

Зниження цього параметра D_z призводить до:

- зменшення орієнтації поза площиною.
- збільшення товщини основного шару.

Моделювання розглядає проблему як симетричну щодо середньої площини.

Емпіричний коефіцієнт взаємодії C_1 для вираження масштабної фракції.

Експериментальна робота Бея дозволяє припустити, що модель взаємодії Фолгара та Таккера дійсно стосується проблем лиття під тиском. Однак як дізнатися, яке значення слід застосувати при моделюванні молекулярної орієнтації.

Експерименти Фолгара і Таккера показали, що C_1 залежить від частки об'єму молекул та співвідношення сторін, але форма залежності була неясною.

Потік у закритій плівці в основному є простим зсувом. Шар оболонки (покриваючи 40–90% до стін від середньої площини) повинен приймати стійке значення для простого зсуву. Ця ситуація запропонувала б готовий спосіб вивчення цієї залежності.

Результати орієнтації шару оболонки Бея показують, що орієнтація a_{ij} дуже чутлива до концентрації молекул, що дозволяє припустити, що емпіричне співвідношення для коефіцієнта взаємодії може бути розроблене. Крім того, вимірювання Бея підтримують пропозицію зробити молекули дифундуючи зі швидкістю, пропорційною швидкості деформації.

Одиничні волокна розглядаються як асиметричні у зв'язку з жорсткістю. Одиничний вектор уздовж своєї осі може описувати орієнтацію волокна. Орієнтаційний стан групи волокон є заданий тензором другого моменту,

$$A = \oint \psi(p) p p d p \quad (2.4)$$

де $\psi(p)$ функція розподілу густини ймовірності по простору орієнтації. Тензор A_4 - тензор орієнтації четвертого порядку, визначений як:

$$A_4 = \oint \psi(p) p p p p d p \quad (2.5)$$

де цей тензор також симетричний. Отримана формула (3.....6) виходить за допомогою оптимального наближення родини ортотропних замикань на основі власного значення [12].

Нову модель орієнтації волокон запропонували автори [8], щоб поєднатись із гідродинамічною (HD) моделлю Jeffery's, а саме модель iARD-RPR (відома як Поліпшена анізотропна модель обертової дифузії у поєднанні з моделлю основного коефіцієнта сповільнення)

$$\dot{A} = \dot{A}_{HD} + \dot{A}_{iARD}(C_I, C_M) + \dot{A}_{RPR}(\alpha) \quad (2.6)$$

де \dot{A} являє собою матеріальну похідну від A . Параметри C_I і C_M описують волокно-волокнувзаємодія та взаємодія волокна-матриці, тоді як параметр α може уповільнити реакцію орієнтації молекул. Деталі моделі RPR та моделі iARD доступні в інших місцях:

$$\dot{A}_{HD} = (W * A - A * W) + \xi(D * A + A * D - 2A_4 / D) \quad (2.7)$$

де W і D - тензор вихровості і тензор швидкості деформації відповідно. ξ – форм-фактор частки. Така модель застосовується в програмному забезпеченні CAE для лиття під тиском, Moldex3D.

Орієнтація стану групи волокон задається другим тензором моменту

$$A = \oint \psi(p) p p d p \quad (2.8)$$

де $\psi(p)$ - розподіл ймовірної щільності функції над орієнтаційним простором.

Модель орієнтації волокна Фольгара-Такера

$$\dot{A} = \dot{A}^W + \dot{A}^H + \dot{A}^D, \quad (2.9)$$

$$\dot{A}^W = W * A - A * W, \quad (2.10)$$

$$\dot{A}_{HD} = (W * A - A * W) + \xi(D * A + A * D - 2A_4 / D), \quad (2.11)$$

$$\dot{A}^D = 2C_{I\dot{\gamma}}(I - 3A), \quad (2.12)$$

де A являє собою похідну матеріалу; W – це тензор вихровості, D - тензор швидкості деформації і її скалярна величина $\dot{\gamma}$; I - тензор ідентичності;

ξ - співвідношення сторін волокна та C_1 - взаємодія волокна; A - тензор орієнтації четвертого порядку, виражений як у формулі (2.9) [11].

З тези Бея [13] було виражено гіпотезу, яка забезпечує емпіричну залежність коефіцієнта C_1 до взаємодії від деяких деталей молекул. Вираз – простий експоненціальний a_{ij} . Дані надходять із оболонок шарів інжекційно-литих смуг різних матеріалів (PC, PBT, PA66) при 6-7 шарів для кожного матеріалу. Усі випадки можуть вважатися концентрованими суспензіями.

Наступні припущення та міркування стосуються цієї переглянутої моделі:

- Модель Фолгар - Таккер дає прийнятну точність для прогнозування орієнтації молекул в концентрованих суспензіях.
- Використовується гібридне закриття, оскільки його форма проста і має гарну динамічну поведінку. Згідно з цим:

- При такому значенні $C_1 = 0,0$ – повертає модель до форми Джефрі. Впливає на тензор орієнтації. Якщо $C_1 \dot{\gamma} = 0$, молекули не взаємодіють між собою; і якщо значення стає дуже великим, молекул стають менш вирівняними.

- Величина D_z встановлює значення ефекту рандомізації в позаплановому напрямку за рахунок взаємодії молекул.

- Встановлення $D_z = 1,0$ дає модель орієнтації Folgar-Tucker для трьохмірної -проблеми.

Встановлення $D_z = 0,0$ дає модель орієнтації Фольгар-Такер для двовимірної задачі.

На основі результатів орієнтації шару оболонки було переглянуто застосовність значення за замовчуванням з виразу Бея в діапазоні вмісту шарів.

При умові $D_z = 1,0$ (форма моделі Фолгар-Таккер) a_{ij} - орієнтація завищена передбачуваність для всього вмісту шарів обох матеріалів. Рівень перевищення прогнозу зменшується зі збільшенням вмісту шарів.

Для проміжних значень застосовується більш складна процедура.

- $C_1 = 0$ (модель Джефрі).

- Емпіричний вираз Бея C_1 за допомогою $D_z = 1,0$ (модель Фольгара-Таккера).

- Для типових деталей, що формуються під тиском (товщина деталі $< 2,5$ мм), переглянута модель з низьким значенням D_z , наприклад $D_z = 0,01$ за замовчуванням, як це було запропоновано раніше.

Переглянута модель з низьким значенням

Можна зробити наступні спостереження:

- Моделі Джефрі та Фолгар - Таккера, як правило, призводять до надмірного прогнозування орієнтаційних оцінок.

- Низький корпус моделі призводить до суттєво знижених рівнів помилок для тонких деталей (товщина $< 2,5$ мм).

- Модель Бея за замовчуванням з низьким значенням надає орієнтовні оцінки, які лежать в діапазоні довіри експериментальних даних Бея для всіх, окрім високого рівня домішок.

Під час процесу формування орієнтація молекул в точці контролюється рухом рідини за двома різними способами: орієнтована на виведений потік (кінематичний термін) і орієнтована на конвекційний потік (термін адвекції).

Для кінематичного терміну точність прогнозування залежить від розрахункової точності градієнта швидкості.

Для терміну адвекції - його точність залежить від обчислення градієнта орієнтації. Як і швидкість, подання тензора орієнтації також залежить від системи координат. Всі числові схеми, придатні для обчислення градієнтів швидкості, можуть бути використані для обчислення градієнта орієнтації. У програмному забезпеченні для орієнтації молекул ця система елементів використовується для представлення полів швидкості та орієнтації, отже, та сама схема використовується для обчислення градієнтів швидкості та орієнтації.

3. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ З УРАХУВАННЯМ ОРІЄНТАЦІЇ МОЛЕКУЛ І ВОЛОКОН

3.1 Рівняння течії полімера

Набір розв'язуючих рівнянь для опису поведінки перехідної та неізотермічної рідини для каналу, що протікає і заливається у форму, розглянуто, як зазначено нижче:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u} - \boldsymbol{\sigma}) = \rho \mathbf{g} \quad (3.2)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = -P\mathbf{I} + \eta(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T) \quad (3.3)$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \eta \dot{\gamma}^2 \quad (3.4)$$

де ρ - густина; \mathbf{u} - вектор швидкості; t час; $\boldsymbol{\sigma}$ - загальний тензор напружень; \mathbf{g} - вектор прискорення сили тяжіння; P - тиск; η - в'язкість; C_p - питома теплота; T - температура; k - теплопровідність; $\dot{\gamma}$ - швидкість зсуву. Справжній 3D-метод скінченних об'ємів завдяки своїй надійності, ефективності використовується для вирішення перехідного поля потоку в тривимірній складній геометрії [9].

Закон стану полімеру визначається за законом Кросса:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + (\lambda \dot{\gamma})^m}, \quad (3.5)$$

де μ – коефіцієнт консистенції; λ – час релаксації; $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву; n – степеневий індекс, $m = n - 1$; μ_0 – в'язкість розплаву полімеру при мінімальній швидкості зсуву.

При неізотермічній течії полімеру на в'язкість розплаву, окрім швидкості зсуву, впливає температура. Тоді в'язкість розплаву розраховується за залежністю

$$\mu = H(T)\mu_0(\dot{\gamma}), \quad (3.6)$$

де $H(T)$ – закон залежності в'язкості від температури, $\mu_0(\dot{\gamma})$ – в'язкість розплаву при початковій температурі і відомій швидкості зсуву.

За законом Арреніуса

$$H(T) = \exp \left[a \left(\frac{1}{T - T_0} - \frac{1}{T_a - T_0} \right) \right], \quad (3.7)$$

де a – коефіцієнт, що дорівнює відношенню енергії активації до термодинамічної константи; T_a – температура скловання, при якій $H(T) = 1$; T_0 – температурна точка відліку, $T_0 = 0$ K; T – розрахункова температура.

Початкові умови:

- Температура розплаву на вході: $T_0 = T_{розпл}$;
- витрата розплаву: V_0 .

Граничні умови:

- Температура розплаву біля стінки дорівнює температурі форми: $T = T_w$;
- прилипання на стінці: $v_w = 0$.

3.2 Моделювання орієнтації

Існує кілька різних підходів для опису орієнтації молекул. Найпростіша форма – скалярний кут між молекулою і однією з опорних осей. У будь-якій частині лиття під тиском є молекули, орієнтовані у багатьох напрямках. Одне орієнтування не може описати дійсний стан орієнтації молекул. Найбільш

повним, хоча і складним, способом опису стану орієнтації є використання функції розподілу ймовірності ψ , яка пов'язана з одиничним вектором \mathbf{p} уздовж вісі молекул, що вказує орієнтацію. Функція розподілу $\psi(\mathbf{p}, t)$ визначена таким чином, що вона дає ймовірність молекулі, що має вирівнювання у напрямку \mathbf{p} . Імовірнісна функція розподілу повинна бути періодичною і нормованою, і вона повинна відповідати умові безперервності.

Використання функції розподілу для обчислення стану орієнтації молекул всюди в частині зробить обчислення занадто довгим і дорогим для практичного використання. Таким чином, потрібне більш компактне представлення стану орієнтації молекул.

Адвані і Такер показали використання тензорів рівномірного порядку в якості більш короткого опису стану орієнтації в підвісці або композиційній системі [14], яке пропоную інтерпретувати за певних припущень для врахування орієнтації молекул

$$\begin{aligned}\alpha_{ij} &= \int p_i p_j \psi(\mathbf{p}, t) d\mathbf{p} \\ \alpha_{ijkl} &= \int p_i p_j p_k p_l \psi(\mathbf{p}, t) d\mathbf{p}\end{aligned}\quad (3.8)$$

Тензорами орієнтації другого та четвертого порядку повністю симетричними, а α_{ij} – єдністю, що є умовою нормалізації. Перевагою використання тензорів орієнтації є обчислювальна ефективність. Ми будемо використовувати тривимірний тензор орієнтації другого порядку для опису тривимірного стану орієнтації. У цьому випадку є лише п'ять незалежних тензорних компонентів.

Рівняння Фольга та Такера – зміни для тензора орієнтації другого порядку в концентрованій суспензії:

$$\begin{aligned}\frac{D\alpha_{ij}}{Dt} &= -\frac{1}{2} (\omega_{ik} \alpha_{kj} - \alpha_{ik} \omega_{kj}) + \frac{1}{2} \lambda (\dot{\gamma}_{ik} \alpha_{kj} + \alpha_{ik} \dot{\gamma}_{kj} - 2 \dot{\gamma}_{kl} \alpha_{ijkl}) \\ &\quad + 2C_1 \dot{\gamma} (\delta_{ij} - \alpha_{ij})\end{aligned}\quad (3.9)$$

де δ_{ij} є одиничний тензор і α дорівнює 3 для тривимірної орієнтації. ω_{ij} і γ_{ij} - швидкість і швидкість деформації тензори, відповідно, визначені в градієнтах швидкості як:

$$\omega_{ik} = \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \quad \gamma_{ij} = \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

$\dot{\gamma}$ - це узагальнена швидкість зсуву, що визначається так:

$$\dot{\gamma} = \sqrt{\frac{1}{2} \gamma_{ij} \dot{\gamma}_{ji}} \quad (3.10)$$

λ – параметр, пов'язаний з формою частинок. Він визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{r_e^2 - 1}{r_e^2 + 1} \quad (3.11)$$

де r_e - співвідношення сторін молекул. Безрозмірний коефіцієнт взаємодії C_1 , описує силу взаємодії між молекулами. Зміна C_1 залежить від стану орієнтації молекул, співвідношення сторін молекул, частки об'єму молекул тощо.

Ця модель орієнтації на молекули додатково переглядається для розрахунків на сітках середньої площини та подвійних доменів. Доданий термін, який називається моментом товщини коефіцієнта взаємодії, введений у модель

$$\begin{aligned} \frac{D\alpha_{ij}}{Dt} = & -\frac{1}{2} (\omega_{ik} \alpha_{kj} - \alpha_{ik} \omega_{kj}) + \frac{1}{2} \lambda (\dot{\gamma}_{ik} \alpha_{kj} + \alpha_{ik} \dot{\gamma}_{kj} - 2\dot{\gamma}_{kl} \alpha_{ijkl}) \\ & + 2C_1 \dot{\gamma} [\delta_{ij} - (2 + D_z) a_{ij}]. \end{aligned} \quad (3.12)$$

3.3 Модель урахування зміни механічних властивостей

Модуль пружності волокнистого композиційного матеріалу в напрямі орієнтації волокон в першому наближенні, без урахування їхньої форми та міжфазної взаємодії, можна визначити за правилом адитивності [15]:

$$E_1 = E_f \psi + E_m (1 - \psi), \quad (3.13)$$

де E_f – модуль пружності волокон; E_m – модуль пружності полімеру; ψ – об'ємна доля волокон у матеріалі.

В напрямі поперек волокон у спрощеному вигляді [16] модуль пружності композиційного матеріалу

$$E_2 = \frac{E_m}{1 - \psi}. \quad (3.14)$$

Таким чином, такий композиційний матеріал володіє ортотропними механічними властивостями, які описуються відносно напрямку орієнтації функціями еліптичного виду [17]. Згідно з ними ефективний модуль пружності на обраному напрямку під кутом φ до напрямку орієнтації волокон

$$E_\varphi = \frac{E_2}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \varphi}}, \quad (3.15)$$

де e – ексцентриситет еліпса, $e = \sqrt{1 - \frac{E_2^2}{E_1^2}}$.

Верифікацію наведених залежностей виконано для обраного матеріалу, механічні властивості якого мають такі значення $E_f = 70$ ГПа; $E_m = 2,3$ ГПа; $\psi = 0,05$. Відповідно до цих значень побудовано графік залежності ефективного

модуля пружності матеріалу від кута між середнім напрямком орієнтації волокон та дією зусилля (рис. 3.1).

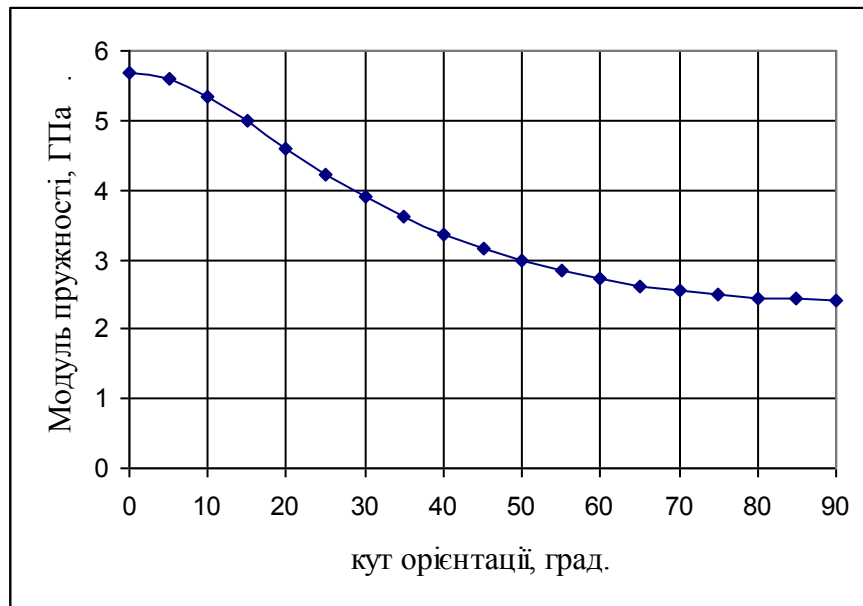


Рисунок 3.1 – Залежність ефективного модуля пружності матеріалу від кута орієнтації волокон

Стану неорієнтованого матеріалу відповідає середній кут орієнтації волокон, рівний 45° , для якого ефективний модуль пружності згідно розрахунків становить 3,15 ГПа. Водночас, паспортне значення модуля пружності для даного матеріалу з бази матеріалів програми Moldex 3D становить 3,3 ГПа, що відрізняється від розрахункового на 4,5%. Величина похибки є допустимою, що свідчить про коректність наведених залежностей.

Приймаючи матеріал пружним, можна вважати межу його міцності пропорційною модулю пружності в даному напрямку відносно напрямку орієнтації волокон, тобто

$$\sigma_1 = \sigma_f \psi + \sigma_m (1 - \psi), \quad (3.16)$$

де σ_f – межа міцності волокон; σ_m – межа міцності полімеру.

Аналогічно, коефіцієнт Пуассона можна представити як

$$\mu_1 = \mu_f \psi + \mu_m (1 - \psi), \quad (3.17)$$

де μ_f – коефіцієнт Пуассона для волокон; μ_m – коефіцієнт Пуассона для полімеру.

Відповідно до цього, можна визначити коефіцієнт відносної міцності матеріалу залежно від кута між середнім напрямком орієнтації волокон та дією зусилля як відношення ефективного модуля пружності у цьому напрямку до модуля пружності неорієнтованого матеріалу (рис. 3.2).

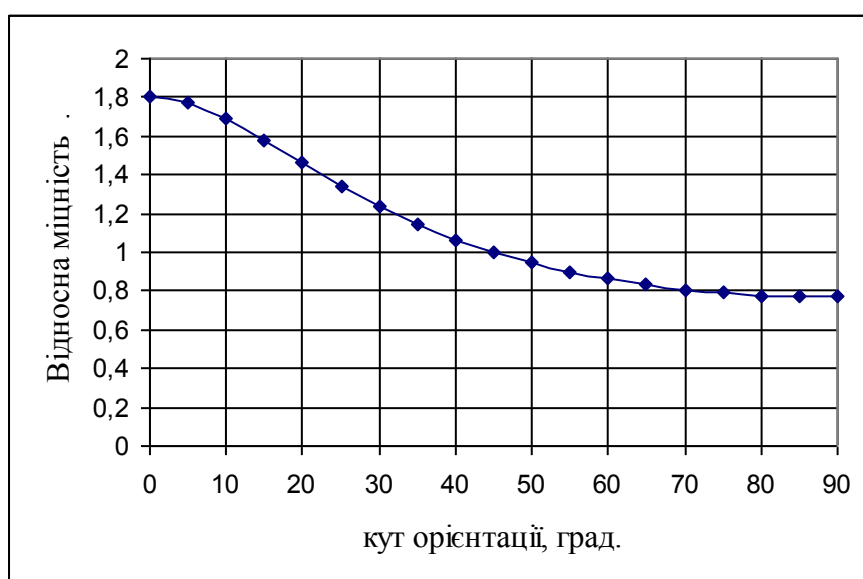


Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнт відносної міцності матеріалу від кута орієнтації волокон

З рис. 3.2 витікає, що в поперечному до орієнтації волокон напрямку міцність даного матеріалу становить 76%, а для повністю орієнтованих волокон – 180% від неорієнтованого.

4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЛОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

В даній роботі було здійснене комп'ютерне моделювання двостороннього лиття зразка з утворенням стику двох потоків розплаву. При цьому аналізувався розрахований програмою розподіл орієнтації волокон наповнювача в полімері.

установлено шляхом числових експериментів, що діючими факторами є:

- температура форми;
- температура розплаву;
- граничний тиск;
- час вприску(швидкість).

4.1 Факторний експеримент

Хіміко-технологічні процеси представляють собою комплекс взаємопов'язаних і протікають в складній взаємозалежності явищ, опис яких ускладнюється необхідністю встановлення закономірностей протікання елементарних процесів, їх взаємодії і взаємовпливу один на одного. Ці процеси відносять до класу стохастичних, в якому зміна визначальних величин відбувається хаотично і часто дискретно. Для опису стохастичних процесів використовують статистико-ймовірнісні методи.

Одним з методів, що добре зарекомендували себе у вирішенні такого роду завдань, є метод повного факторного експерименту, в основі якого лежить спосіб побудови залежності впливу визначальних факторів на параметр оптимізації у вигляді відрізка степеневого ряду Тейлора.

Метод повного факторного експерименту включає у себе послідовні етапи математичного моделювання:

- 1) Вибір параметрів оптимізації і впливаючих факторів;
- 2) Вибір інтервалу варіювання по кожному фактору;

3) Побудова математичної моделі зі знаходженням коефіцієнтів рівняння регресії;

У нашому випадку на параметр оптимізації Y , в якості якого було обрано відносну ширину зони змінених властивостей, будуть впливати наступні фактори:

1. Температура розплаву (X_1)
2. Температура форми (X_2)
3. Час заповнення (X_3)
4. Інжекційний тиск (X_4)

Для факторів 1-4 були обрані основні рівні та інтервали варіювання (Табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Значення рівней факторів та інтервалів варіювання

Показник	$X_1, ^\circ\text{C}$		$X_2, ^\circ\text{C}$		$X_3, \text{с}$		$X_4, \text{МПа}$	
	Значення	Код	Значення	Код	Значення	Код	Значення	Код
Нижній рівень	min	-1	min	-1	min	-1	min	-1
Верхній рівень	max	1	max	1	max	1	max	1

Після чого будується матриця повного факторного експерименту (Табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Матриця планування повного факторного експерименту

№ досліду	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
1	+1	+1	+1	-1	0,199
2	+1	+1	-1	+1	0,532
3	+1	-1	+1	-1	0,815
4	+1	-1	-1	+1	0,87
5	-1	+1	+1	-1	0,637
6	-1	+1	-1	+1	0,82
7	-1	-1	+1	-1	0,668
8	-1	-1	-1	+1	0,798

Обробка результатів відбувається за наступним алгоритмом [18]:

1. Для кожної серії паралельних дослідів вираховують середнє арифметичне значення функції відгуку по формулі:

$$\bar{Y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Y_{j,i} \quad (4.1)$$

де, j – номер серії паралельних дослідів;

k – число паралельних дослідів, проведених при однакових умовах;

$Y_{j,i}$ – поточне значення параметра оптимізації i -того дослідів j -тої серії.

2. Розрахунок коефіцієнтів регресії ведеться по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Y_j \quad (4.2)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ji} Y_j \quad (4.3)$$

$$b_{im} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ji} Y_{jm} Y_j \quad (4.4)$$

де, $l \neq m$.

5. РЕЗУЛЬТАТИ

5.1 Результати факторного експерименту

Основні рівні та інтервали варіювання записані у

Таблиця 5.1 – Основний рівень та інтервал варіювання

Показник	X1, °C		X2, °C		X3, с		X4, Мпа	
	Значення	Код	Значення	Код	Значення	Код	Значення	Код
Нижній рівень	270	-1	90	-1	0,53	-1	50	-1
Верхній рівень	290	1	120	1	0,7	1	148	1

При проведенні досліджень впливу температури розплаву, температури форми, інжекційного тиску та часу заповнення на відносну ширину зони змінених властивостей були отримані такі експериментальні дані (Табл. 5.2). У **Ошибка! Источник ссылки не найден.**2 вказані середні показники динамометра однієї серії досліджень при однакових умовах (5 вимірів).

Таблиця 5.2 – Результати експериментальних досліджень

№ досліду	Відносна ширина зони змінених властивостей, умовні одиниці
1	0,199
2	0,5323
3	0,815
4	0,87
5	0,637
6	0,82
7	0,668

8	0,798
---	-------

Розраховуємо коефіцієнти рівняння регресії для побудови рівняння регресії коефіцієнта тертя за формулами(4.2 – 4.4)

$$b_0 = (0,199 + 0,5323 + 0,815 + 0,87 + 0,637 + 0,82 + 0,668 + 0,798) / 8 = 0.667$$

$$b_1 = (0,199 + 0,5323 + 0,815 + 0,87 - 0,637 - 0,82 - 0,668 - 0,798) / 8 = -0.063$$

$$b_2 = (0,199 + 0,5323 - 0,815 - 0,87 + 0,637 + 0,82 - 0,668 - 0,798) / 8 = -0.121$$

$$b_3 = (0,199 - 0,5323 + 0,815 - 0,87 + 0,637 - 0,82 + 0,668 - 0,798) / 8 = -0.088$$

$$b_4 = (-0,199 + 0,5323 - 0,815 + 0,87 - 0,637 + 0,82 - 0,668 + 0,798) / 8 = 0.088$$

$$b_{12} = (0,199 + 0,5323 - 0,815 - 0,87 - 0,637 - 0,82 + 0,668 + 0,798) / 8 = -0.118$$

$$b_{13} = (0,199 - 0,5323 + 0,815 - 0,87 - 0,637 + 0,82 + 0,668 + 0,798) / 8 = 0.157$$

$$b_{14} = (-0,199 + 0,5323 - 0,815 + 0,87 + 0,637 - 0,82 + 0,668 - 0,798) / 8 = 0.009$$

$$b_{23} = (0,199 - 0,5323 - 0,815 + 0,87 + 0,637 - 0,82 - 0,668 + 0,798) / 8 = -0.041$$

$$b_{24} = (-0,199 + 0,5323 + 0,815 - 0,87 - 0,637 + 0,82 + 0,668 - 0,798) / 8 = 0.041$$

$$b_{34} = (-0,199 - 0,5323 - 0,815 - 0,87 - 0,637 - 0,82 - 0,668 - 0,798) / 8 = -0.667$$

$$b_{123} = (0,199 - 0,5323 - 0,815 + 0,87 - 0,637 + 0,82 + 0,668 - 0,798) / 8 = -0.0281$$

$$b_{124} = (-0,199 + 0,5323 + 0,815 - 0,87 + 0,637 - 0,82 - 0,668 + 0,798) / 8 = 0.0281$$

$$b_{134} = (-0,199 - 0,5323 - 0,815 - 0,87 + 0,637 + 0,82 + 0,668 + 0,798) / 8 = 0.063$$

$$b_{234} = (-0,199 - 0,5323 + 0,815 + 0,87 - 0,637 - 0,82 + 0,668 + 0,798) / 8 = 0.121$$

$$b_{1234} = (-0,199 - 0,5323 + 0,815 + 0,87 + 0,637 + 0,82 - 0,668 - 0,798) / 8 = 0.118$$

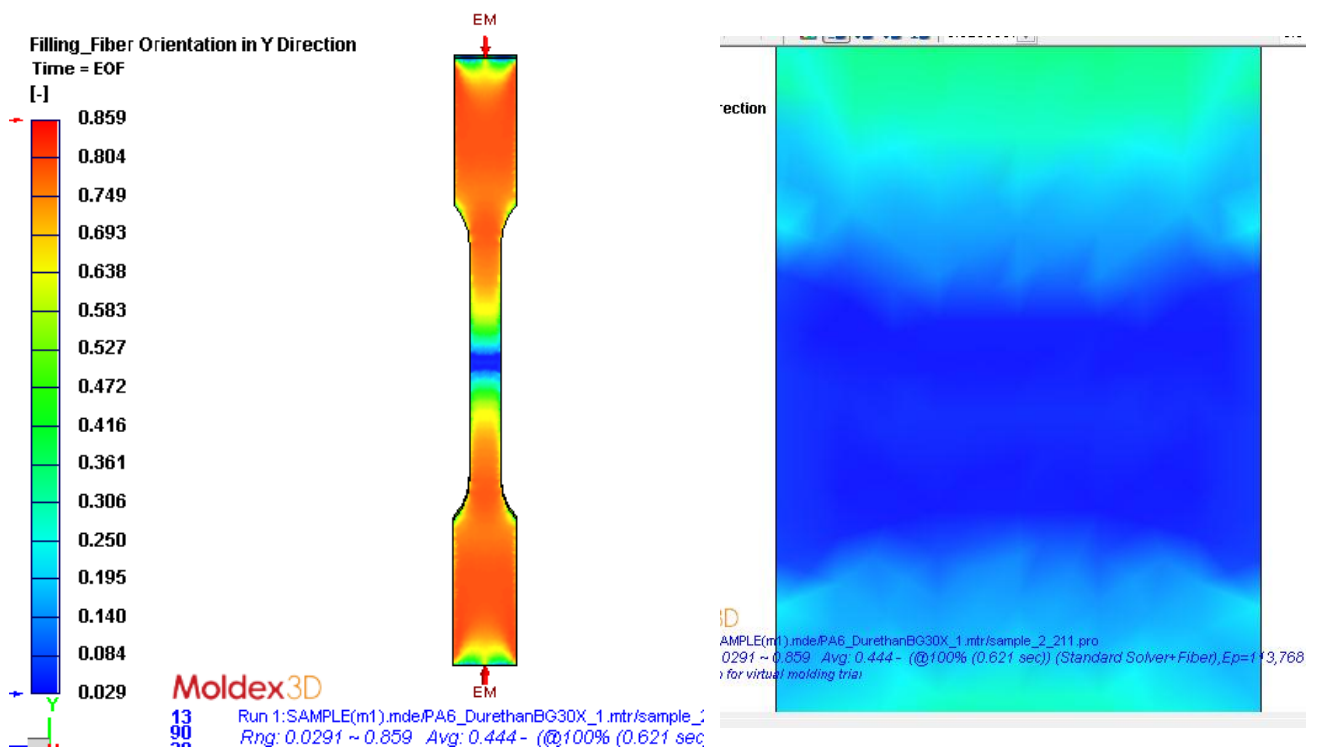
Будуємо залежність відносної ширини зони змінених властивостей від температури розплаву, температури форми, інжекційного тиску та часу заповнення:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 0.667 - 0.063 X_1 - 0.121 X_2 - 0.088 X_3 + 0.088 X_4 - 0.118 X_1 X_2 \\
 & + 0.157 X_1 X_3 + 0.009 X_1 X_4 - 0.041 X_2 X_3 + 0.041 X_2 X_4 \\
 & - 0.667 X_3 X_4 - 0.0281 X_1 X_2 X_3 + 0.0281 X_1 X_2 X_4 \\
 & + 0.063 X_1 X_3 X_4 + 0.121 X_2 X_3 X_4 + 0.118 X_1 X_2 X_3 X_4
 \end{aligned} \quad (5.1)$$

5.2 Перевірка достовірності обробки факторного експерименту

Щоб перевірити достовірність функції (5.1), отриману за результатами аналізу факторного числового експерименту, розглянемо отриману ширину зони змінених властивостей у зразку, що було змодельовано у програмному забезпеченні Moldex 3D, та порівняємо з показником, який отримаємо з отриманої функції.

При інжекційному тиску = 100 МПа, T форми = 90°C, час заливки = 0,63с, T розплаву = 274 °C було отримано зразок з відносною шириною змінених властивостей 0,66 (рис 5.1).



б

Рисунок 5.1 –Розподіл орієнтації волокон

б – зона змінених властивостей

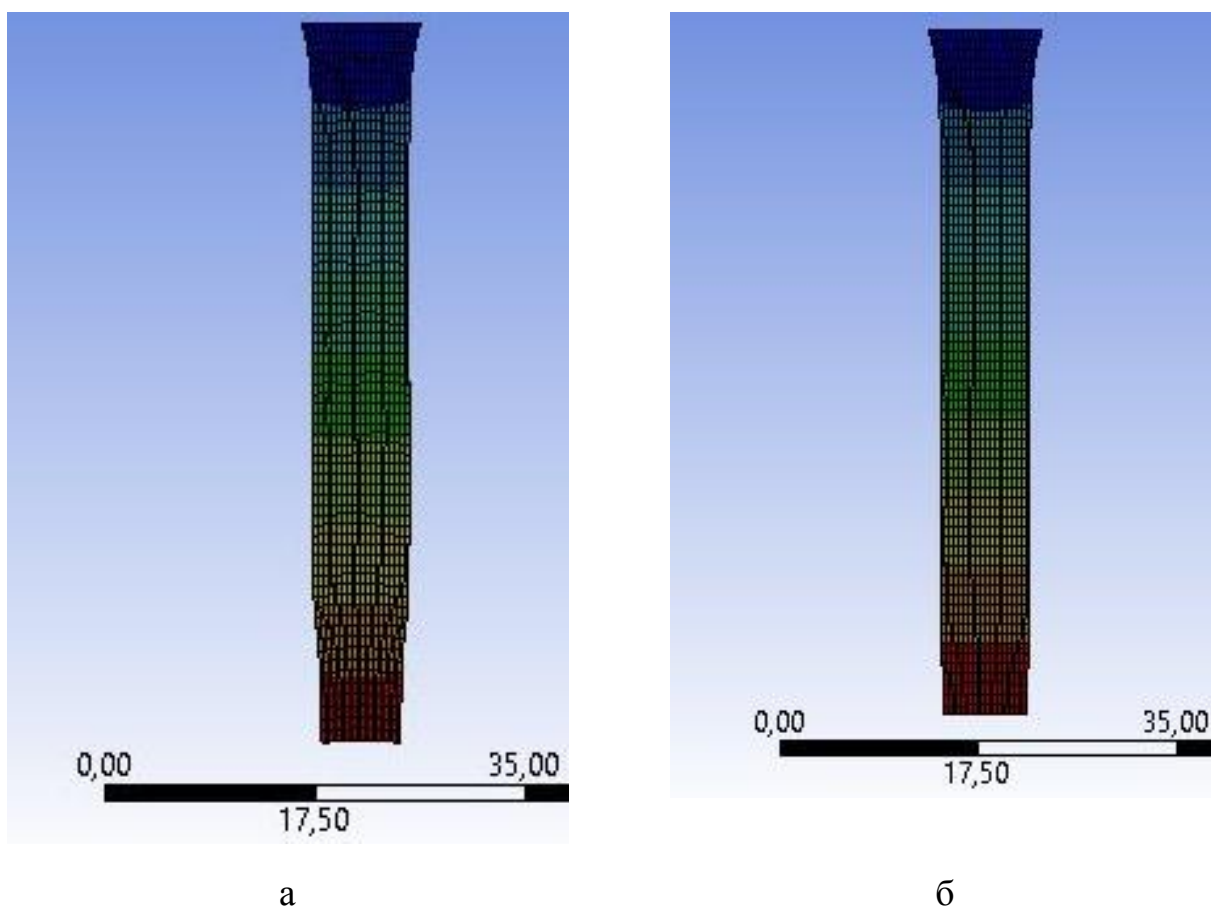
Підставивши значення у поліном (5.1) згідно з табл.5.1 отримали наступне:

$$\begin{aligned}
 Y_I = & 0.667 - 0.063 \cdot 274 - 0.121 \cdot 90 - 0.088 \cdot 0,63 + 0.088 \cdot 100 - 0.118 \cdot 274 \cdot \\
 & 90 + 0.157274 \cdot 0,63 + 0.009 \cdot 274 \cdot 100 - 0.041 \cdot 90 \cdot 0,63 + 0.041 \cdot 90 \cdot 100 - \\
 & 0.667 \cdot 0,63 \cdot 100 - 0.0281 \cdot 274 \cdot 90 \cdot 0,63 + 0.0281 \cdot 274 \cdot 90 \cdot 100 + 0.063 \cdot 274 \cdot \\
 & 0,63 \cdot 100 + 0.121 \cdot 90 \cdot 0,63 \cdot 100 + 0.118 \cdot 274 \cdot 90 \cdot 0,63 \cdot 100 = 0,6086
 \end{aligned}$$

Похибка становить 7,788%, що є допустимим, і тому функція (5.1) є достовірною, що дозволяє використовувати її у подальшому аналізі.

5.3 Оцінка впливу ширини зони змінених властивостей на міцність виробу

Для оцінки впливу ширини зони змінених властивостей на міцність полімерного виробу було виконано числові експерименти в середовищі ANSYS. В ході числових експериментів змодельовано розподіл напружень та переміщень під час розтягу у полімерному зразку, який складається із двох частин: з основними властивостями в основній масі та зміненими властивостями в центральній частині, де передбачається зона стикування потоків розплаву під час заливки форми. Через симетричність зразків розглядалась лише їх половина, а затиснуті між губками частини не розглядались. Розміри зразків відповідають змодельованим для процесу лиття. Експерименти проведено для двох значень ширини зони змінених властивостей: 10 мм та 4 мм (рис. 5.2). Верхню грань зразка А закріплено, а на нижню В задано переміщення 25 мм за 5 с.

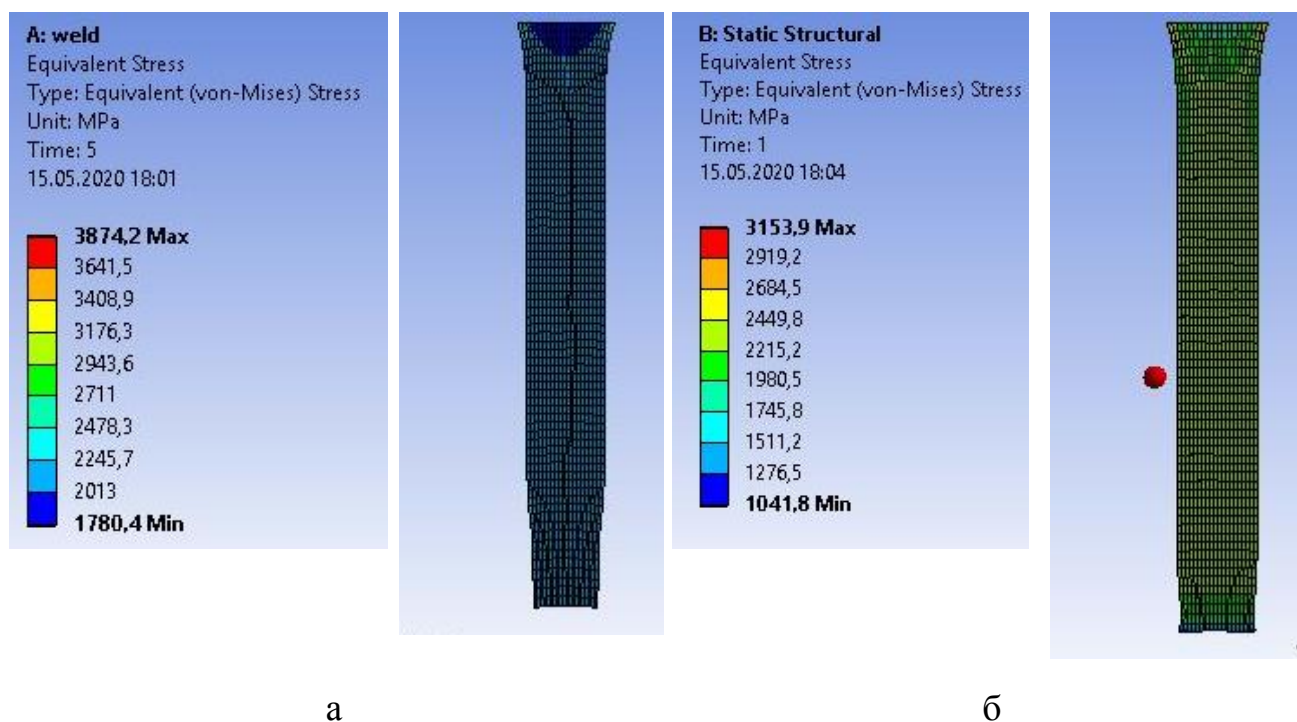


а – 10 мм; б – 4 мм

Рисунок 5.3 – Деформована геометрія зразків з різною шириною зони змінених властивостей

З рис. 5.4 видно, що більш широка зона змінених властивостей піддається сильнішій деформації зі звуженням у поперечному перерізі.

Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом (рис. 5.5) також демонструє, що більш широка зона змінених властивостей негативно впливає на розподіл напружень у всьому зразку.



а – 10 мм; б – 4 мм

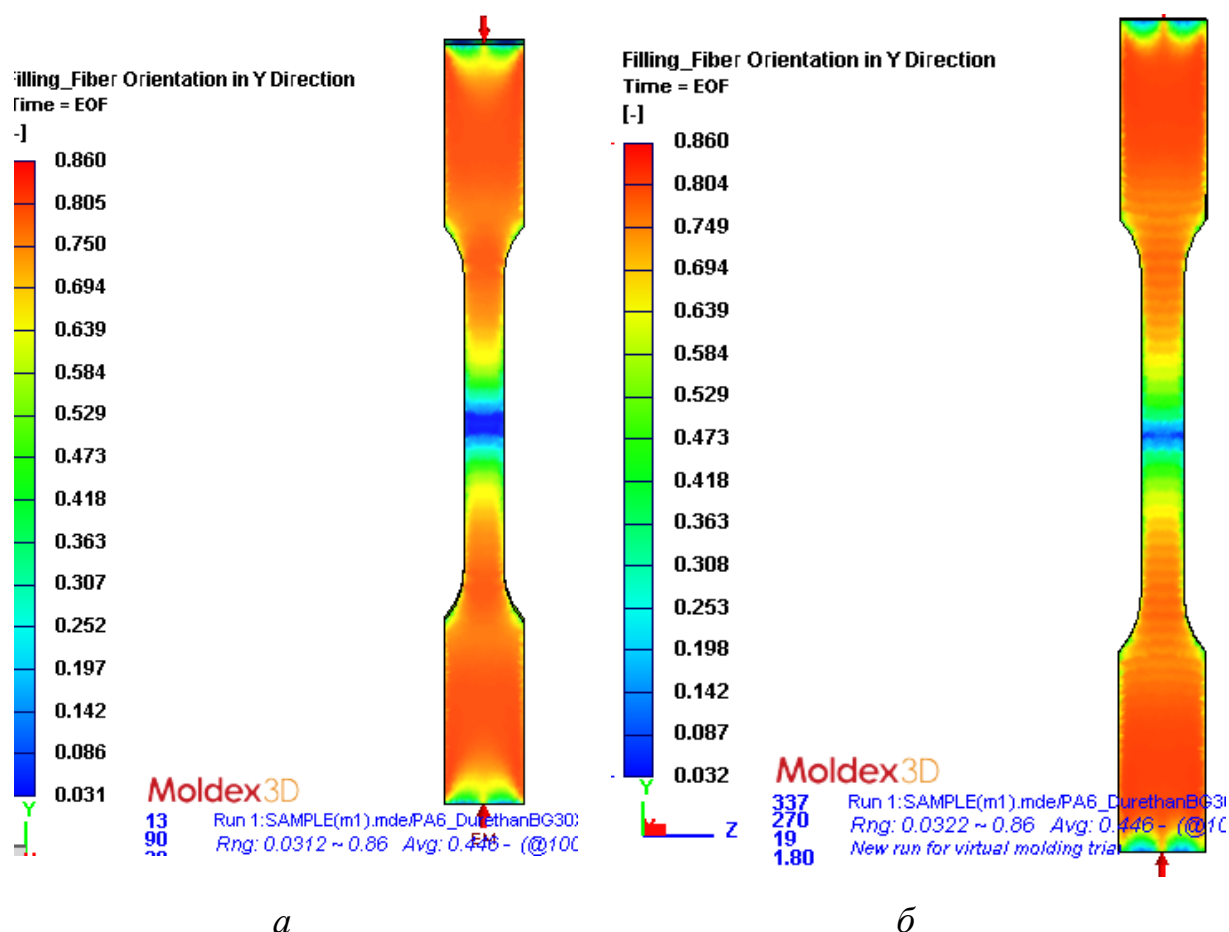
Рисунок 5. 5 – Розподіл еквівалентних напружень у зразках з різною шириною зони змінених властивостей

З рис. 5.5 витікає, що зі збільшенням ширини зони змінених властивостей в 2,5 раз максимальні еквівалентні напруження у зразку виросли на 23%.

Це свідчить про те, що для зниження впливу зони спаю потоків розплаву на міцність полімерного виробу необхідно прагнути до найменшої її величини.

5.4 Результати моделювання в програмному забезпеченні Moldex 3D

На рис. 5.6 показано приклад результатів моделювання розподілу орієнтації волокон у зразках матеріалу Durethan BG 40X, отриманих за різних технологічних режимів.



а – температури розплаву від 270 до 274°C;

б – температури розплаву від 275 до 290°C

Рисунок 5. 6– Розподіл орієнтації волокон при інжекційному тиску 100 МПа, тиску усадки 10 МПа, $T_{\text{форми}}$ 90°C, часі інжекції 0,7с

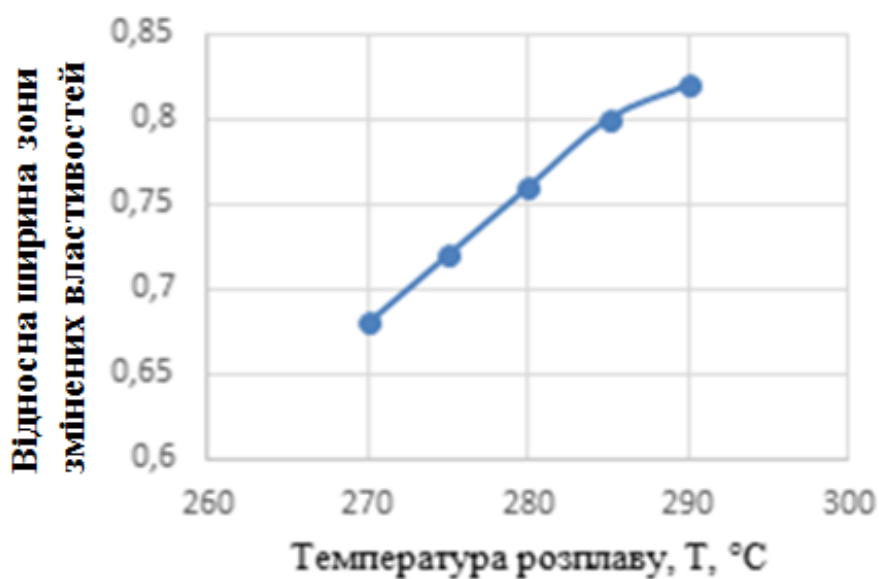


Рисунок 5.7 – Графік залежності відносної ширини зони змінених властивостей від температури лиття

З рис. 5.7 можна побачити, що за певного збільшення температури розплаву ширина зони змінених властивостей різко зменшилась.

При вихідних даних: тиск інжекції = 50 МПа, час заповнення = 0,7с, $T_{\text{форми}} = 90^{\circ}\text{C}$, тиск усадки – 10 МПа.

Для встановлення залежності параметрів процесу лиття від температури форми було проведено цикл розрахунків, результати яких наведено на рис. 5.8 – 5.9.

Рис. 5.8 – графік залежності ширини зони змінених властивостей від часу заповнення. При вихідних даних: Значення тиску інжекційного 50 МПа, тиск усадки 10 МПа, Температура розплаву варіюється від 275°C до 290°C , $T_{\text{форми}}=90^{\circ}\text{C}$. 2 - $T_{\text{форми}} = 120^{\circ}\text{C}$

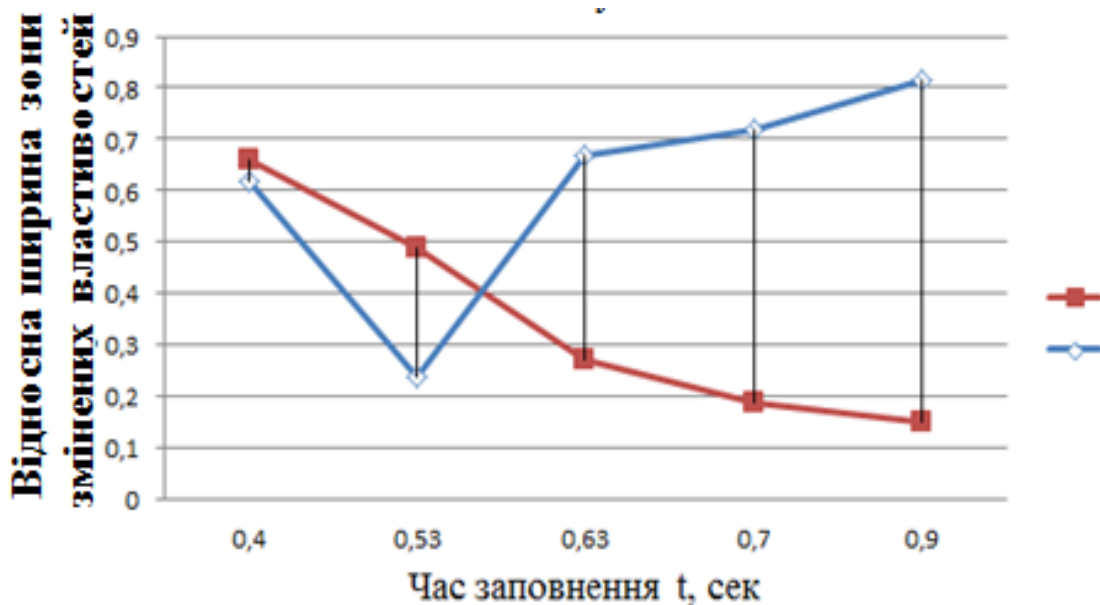
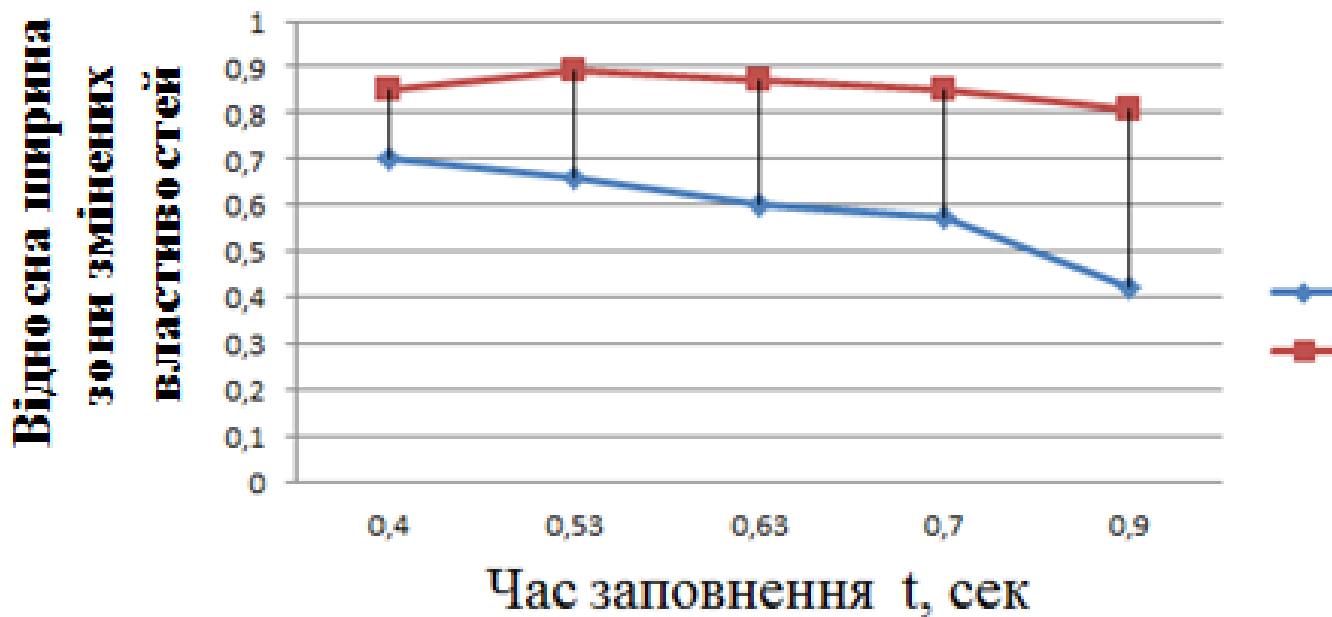


Рисунок 5. 8– Графік залежності ширини зони змінених властивостей від часу заповнення

Рис. 5.9 – графік залежності ширини зони змінених властивостей від часу заповнення, при вихідних даних: значення тиску інжекційного 100 МПа, тиск усадки 10 МПа, температура розплаву варіюється від 275°C до 290°C .



1 – $T_{\text{форми}} = 90^{\circ}\text{C}$.

2 – $T_{\text{форми}} = 120^{\circ}\text{C}$

Рисунок 5.9– Графік залежності ширини зони змінених властивостей від часу заповнення

При зміні такого параметру як інжекційний тиск / усадковий тиск), спостерігаємо як змінюється відносна ширина зони змінених властивостей.

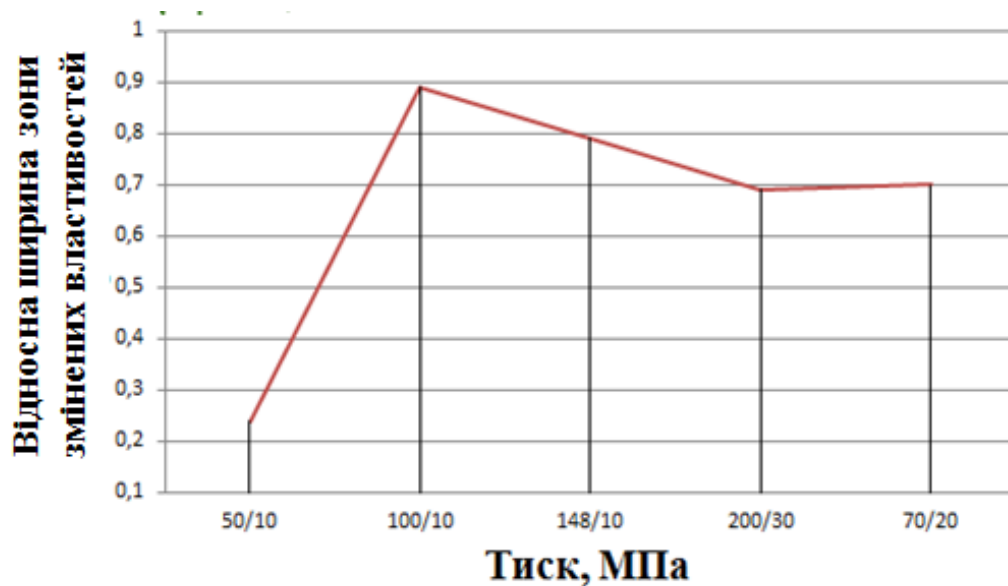


Рисунок 5.10– Графік залежності ширини зони змінених властивостей від тиску, при вихідних даних: $T_{\text{форми}} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$, час= 0,53 с, температура розплаву: від $275\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $290\text{ }^{\circ}\text{C}$

5.5. Аналіз ширини зони змінених властивостей на базі факторного експерименту

Згідно з поліномом (5.1) встановлюємо залежність зони змінених властивостей від:

а) зміни температури розплаву(табл. 5 .3)

Таблиця 5.3 – Результати експериментальних досліджень

X_1	X_2	X_3	X_4	$Y_1.$
270	90	0,53	50	0,1692036
272	90	0,53	50	0,1679436
274	90	0,63	50	0,1665956
285	90	0,53	50	0,1597536
290	90	0,53	50	0,1566036

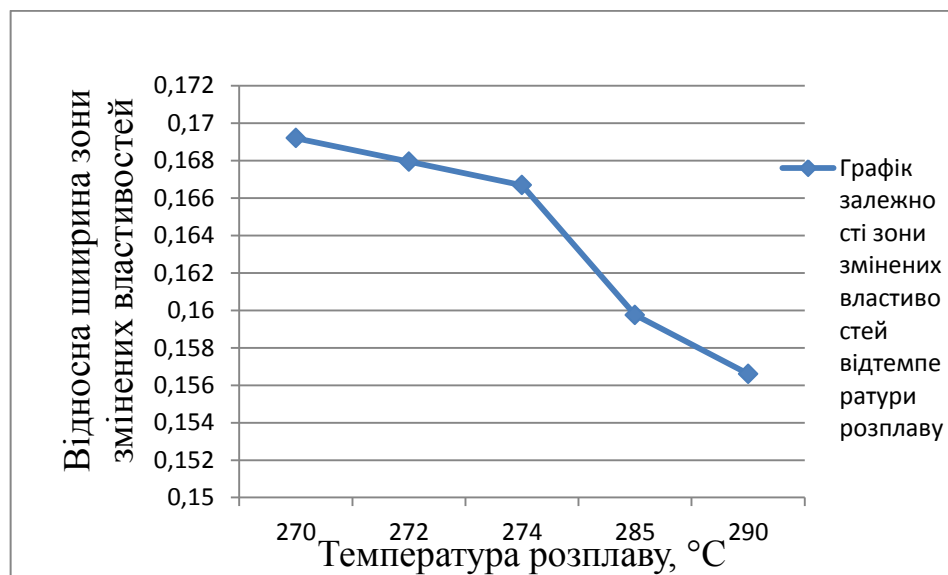


Рисунок 5.11 – Графік залежності зони змінених властивостей від температури розплаву

б) зміни температури форми

Таблиця 5.4 – Результати експериментальних досліджень

X_1	X_2	X_3	X_4	$Y_1.$
270	90	0,53	50	0,1692036
270	95	0,53	50	0,1631536
270	100	0,53	50	0,1571036
270	110	0,53	50	0,1450036
270	120	0,53	50	0,1329036

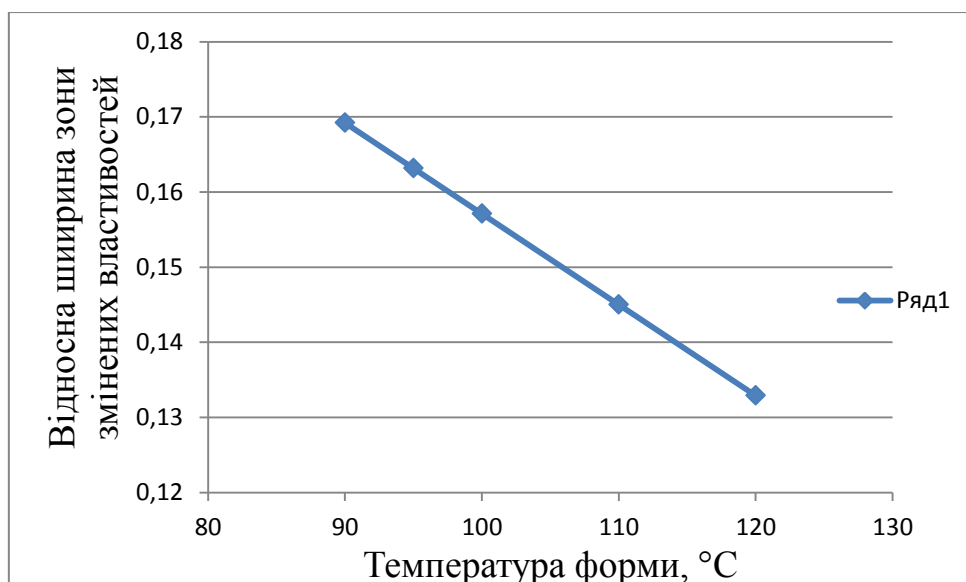


Рисунок 5.12 – Графік залежності зони змінених властивостей від температури форми

в) зміни часу заповнення

Таблиця 5.5 – Результати експериментальних досліджень

X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1
270	90	0,4	50	0,169318
270	90	0,53	50	0,1692036
270	90	0,63	50	0,1691156
270	90	0,7	50	0,169054
270	90	0,9	50	0,168878

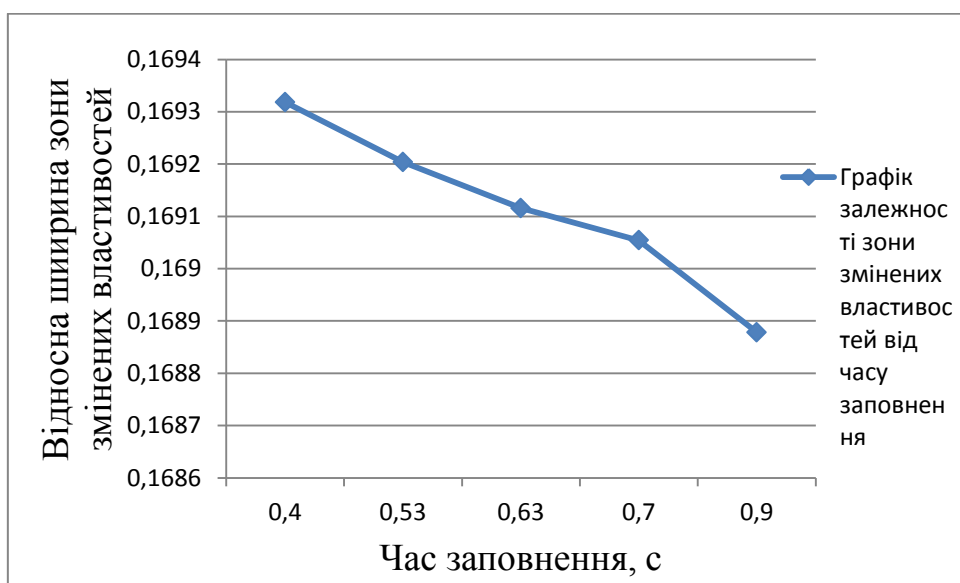


Рисунок 5.13 – Графік залежності зони змінених властивостей від часу заповнення

г) зміни інжекційного тиску

Таблиця 5.6 – Результати експериментальних досліджень

X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1
270	90	0,53	50	0,1692036
270	95	0,53	70	0,3460036
270	100	0,53	100	0,6112036
270	110	0,53	148	1,0355236

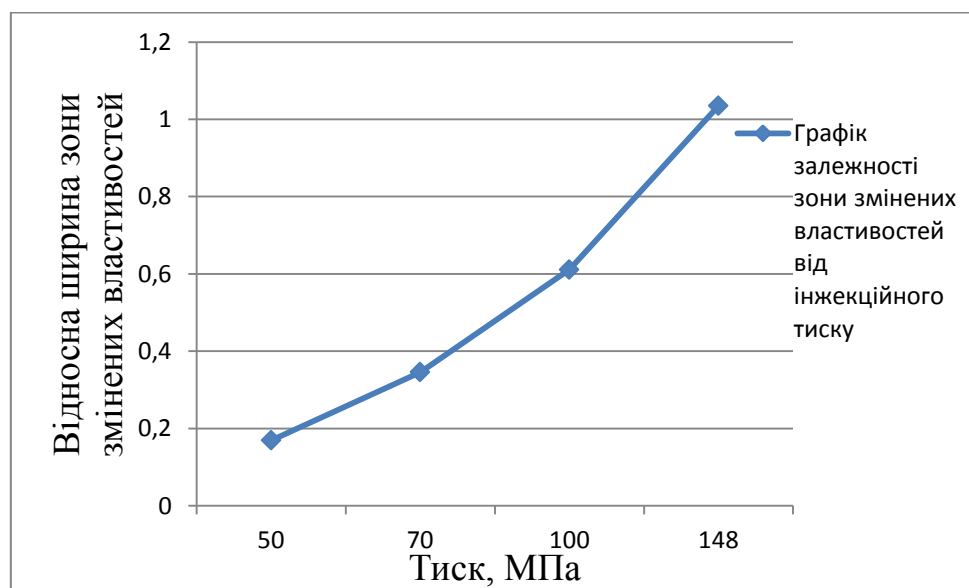


Рисунок 5.14 – Графік залежності зони змінених властивостей від тиску

Отже, для зменшення відносної зони змінених властивостей, необхідно збільшувати всі параметри, окрім тиску, який навпаки слід зменшувати.

5.6 Моделювання пакувального виробу типу «кришка»

Було створено 3D модель пакувального виробу типу «кришка» (рис 5.15) у програмному забезпеченні Catia (рис. 5.16).



Рисунок 5.15 – Деталь типу «кришка»



Рисунок 5.16 – 3D модель деталі типу «кришка»

При точці вприску А (рис. 5.17) та вихідними даними: значення інжекційного тиску 100 МПа, тиск усадки 10 МПа, температура розплаву 275°C , $T_{\text{форми}} = 95^{\circ}\text{C}$, програмне забезпечення Moldex 3D показувало наявність лінії спаю. Після перенесення з точки А в точку Б лінія спаю – завдяки покращенню умов стикування потоків після обтікання деталі, яка формує отвір. Збільшується тиск, швидкість і температура зустрічних фронтів розплаву, тим самим збільшується дифузія між ними.

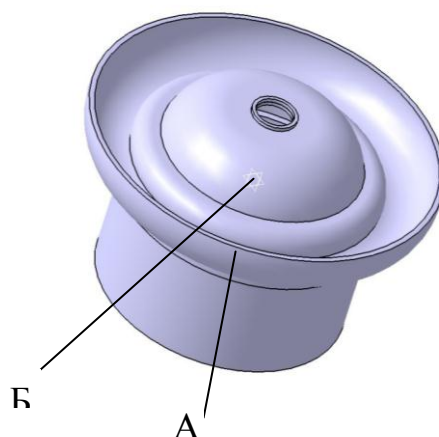


Рисунок 5.17 – геометрична модель деталі типу «кришка» з позначенням точок вприску

Таким чином, наближення точки впуску розплаву до зони злиття потоків сприяє усуненню дефекту у вигляді лінії спаю за рахунок збільшення температури потоку розплаву та зниженню ефекту орієнтації.

6. ВИМОГИ ДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ

6.1 Аналізи небезпечних та шкідливих факторів

Дотримання законодавчих нормативних актів про охорону праці веде до зниження травматизму на виробництві. Для цього проведемо науковий аналіз умов праці.

Охорона праці та навколишнього середовища містить у собі питання безпеки праці, попередження травматизму і професійних захворювань; питання правової охорони праці; вибухів і пожеж на виробництві. Також з охороною праці пов'язані і питання пожежної безпеки в електроустановках. Електричні станції і мережі оснащені сучасною технікою, в основу якої - закладені принципи охорони праці. Безпечні конструкції електричних машин, механізмів і інших пристроїв повинні забезпечити здоров'я і безпечні рівні праці для обслуговуючого персоналу.

Технічне завдання дипломної роботи: «Машина для лиття під тиском з модернізацією інжекційного пристрою».

Визначаємо шкідливі небезпечні виробничі фактори. Оператор знаходиться біля пульта керування у операторській. Кімната оператора управління знаходиться в цеху, розміри цеху: висота $L=6\text{м.}$, площа: $S=1600\text{м}^2$, об'єм: $V=9600\text{м}^3$. Розміри операторської кімнати: висота $L=3\text{м.}$, площа $S=36\text{м}^2$, об'єм $V=108\text{м}^3$.

ШНВФ, які впливають на оператора:

- повітря робочої зони;
- виробничий шум, вібрації;

- частин машини для лиття під тиском що рухаються;
- небезпека враження електричним струмом;
- надзвичайні ситуації.

Установку параметрів технологічного процесу і контроль здійснює оператор. Створення здорових і безпечних умов праці на підприємстві обумовлюють необхідність раннього виявлення шкідливих і небезпечних факторів, для того щоб на стадії проектування намітити заходи, які слід проводити для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу. При проектуванні нової техніки повинні цілком враховуватися вимоги діючого законодавства по охороні праці.

6.2 Повітря робочої зони

Робота оператора, який обслуговує машину для лиття під тиском відноситься до категорії легких фізичних робіт згідно ГОСТ 12.1.005-88/98 з енерговитратами 630 Кдж/год.

У операторській встановлена загально-обмінна вентиляція за допомогою механічної витяжки для приточування повітря. Вхідне повітря від пилу фільтрується за допомогою скрубера. У цій системі повітря подається в приміщення вентиляцією приточування, а віддаляється витяжною, що працюють одночасно. Приток повітря проводиться в робочу зону, а витяжка - з верхньої зони приміщення ділянки.

При цьому ефективність пристроїв така, щоб масова концентрація шкідливих речовин і запилене повітря в зоні обслуговування не перевищувала санітарних норм, встановлених ГОСТ 12.1.005-88 і СНиП 2 04.05-84.

У цеху також встановлена система опалення та кондиціонер.

Всі проведені заходи забезпечують у виробничому приміщенні такі параметри повітря:

- температура повітря в робочій зоні в холодний період року складає: 20-23 оС
- допустима і 19-21 оС – фактична, а в теплий період: 22-25 оС та 21-23 оС відповідно;
- відносна вологість складає 40-60%;
- швидкість руху повітря – 0,2 м/с.
- ГДК пилу 6 мг/м – допустима, 2 мг/м – фактична.

6.3 Виробничий шум

До джерел шуму на підприємстві, де встановлена обертова піч, належать:

- редуктора
- електродвигуни привода;
- зубчасті передачі;
- опорні ролики;
- шум у підшипниках;
- вентилятори.

При експлуатації устаткування в робочий час рівень звуку складає 105дБА, а нормативне значення, згідно ДСН 3.3.6.037-99 складає 80дБА. Тому було прийнято наступні міри:

застосовуємо амортизатори(-20 дБА).

застосовуємо змащення всіх рухомих частин машини(-10дБА);

застосовуємо балансування обертових частин машини (-10дБА).

В якості амортизаційного елементу використовуємо торсіон, який має енергоємність в 1,5 рази більшу ніж у пружини.

При експлуатації устаткування в робочий час рівень звуку складає 65дБА, а нормативне значення, згідно ДСН 3.3.6.037-99.

У операторській, виконаній з бетону товщиною 200мм, та обшитої скловолокном, рівень шуму складає 20 дБА.

Для захисту органів слуху оператора, при проведенні робіт поза операторською використовуються навушники.

6.4 Вібрація

До джерел вібрації у даному випадку належать електродвигуни й обертові частини машини для лиття під тиском. Посилення вібрації відбувається за рахунок неточності установки обертових частин; через нещільність з'єднання корпусів обертових частин до фундаменту. У даному випадку спостерігається загальна вібрація, що передається через опори на оператора. Робітник мало піддається вібрації, тому що він знаходиться далеко від опор печі. Він знаходиться біля пульта керування, тому загальна вібрація не впливає конкретно на нього.

Для зниження вібрації прийняті наступні міри:

- застосовуємо масляні ванни;
- застосовуємо додаткові ребра жорсткості;

- так як спостерігається, в основному, вібрація низьких і середніх частот, то покриття корпусів редукторів приймаємо тверді, металеві на основі алюмінію й міді;
- віброгашення, що здійснюється за рахунок установки агрегатів на фундаменті.

Покриття особливо відповідальних частин дорівнює 0,005мм, не особливо відповідальних 0,1мм. Сумарний час роботи в контакті з вібрацією не перевищує 2/3 робочої зміни. Тривалість одноразового безупинного впливу вібрацій не перевищує 15-20 хв, а при такому режимі обідня перерва не менш 40 хв. Рівень загальної вібрації печі не перевищує 10 , 12дБ, що відповідає ДСН 3.3.6.039-99.

Небезпека впливу частин машини для лиття під тиском, що рухаються й обертаються

Механізмами, які обертаються є: запирання форми, черв'як, шестерні, ролики, муфти. Ці механізми є небезпечними, тому що можливе нанесення механічних травм і можуть викликати людську смерть. З метою запобігання травм встановлені огороження.

Робітники забезпечені індивідуальними засобами захисту:

комбінезонами групи М – для захисту від механічних пошкоджень;

спеціальне взуття відповідне до спецодягу;

засоби захисту рук – рукавиці з бавовни;

респіратори ШБ-1.

Для огороження використовуємо зварені з лозин у виді ґрат екрани.Обертові механізми двигунів і муфт встановлені в нерухомих кожухах. Вінцева шестерня закрита спеціальним кожухом. Для аварійної зупинки машини передбачені аварійні пристрої, гідроупори, вимикачі, а на пульті керування - аварійні кнопки.

6.5 Електробезпека

Виробниче приміщення, у якому встановлений пункт керування машиною для лиття під тиском, відповідно до діючих правил (ПУЕ) відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом.

Для живлення установки використовується трифазна напруга $U = 220/380$ В, з частотою $f = 50$ Гц із глухо-заземленою нейтраллю.

Причини враження обслуговуючого персоналу можуть бути наступні:

- помилкове вмикання установки;
- пробій на корпус;
- дотик людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і втрата її ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть виявитися під напругою у випадку короткого замикання. Трифазні ланцюги згідно “Правилам устрою електроустановок” (ПУЕ), при напрузі до 1000 В приймаються, як трьох провідні ланцюги з глухо-заземленою нейтраллю.

Небезпека враження для людини визначається опором ланцюга людини. Зі зменшенням цих опорів ця небезпека збільшується.

Як величину тривалої враження струмом при нормальних умовах застосовують силу струму $I = 0,01$ А. При тривалому влученні під напругу силу струму, що допускається, приймають рівній силі струму, не зухвалих порушень у режимі ритму роботи серця.

Безпека експлуатації устаткування забезпечується поруч організаційних і технічних мір захисту: застосуванням малих напруг, захисним поділом мереж,

контролем і профілактикою ушкодження ізоляції, подвійною ізоляцією, забезпеченням неприступності струмоведучих частин, захисним заземленням, захисним зануленням, захисним відключенням, застосуванням засобів індивідуального захисту й ін.

З метою запобігання травм рекомендується вживати наступних заходів обережності:

- рубильники включення установки знаходиться в спеціальній шафі;
- силові кабелі помістити в спеціальні захисні металеві рукава;
- передбачити спеціальне захисне відключення установки у випадку влучення людини під напругу;
- на панелі управління передбачити спеціальні лампи включення установки;
- вузли установки, що можуть виявитися під напругою, постачати затисками для підключення занулення.

Біля датчиків занулення нанести незмивний фарбою знаки «Земля» згідно ГОСТ 12.1.030-81.

Електрична міцність ізоляції перевіряється на іспитовій напрузі $U=200V\sqrt{f}$ частотою $f=50$ Гц протягом 1 хвилини. Опір ізоляції повинен бути не менш 0,5мОм.

Для трифазної мережі з глухо-заземленою нейтраллю при режимі роботи у випадку дотику до однієї фази струм через людину дорівнює:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{r + z_0} = \frac{220}{0,4 + 0,2} = 366,67 \text{ А},$$

де U_{ϕ} - фазну напругу; r - опір провідника, приймаємо $r=0,4$ Ом; U – опір нульового провідника, приймаємо 0,2 Ом.

Схема занулення включає наступні елементи: нульовий захисний провід (провідник, що з'єднує зануляємі частини з глухозаземленою нейтраллю джерела в трифазних мережах, з глухозаземленим виводом джерела однофазного струму, з глухозаземленою середньою точкою в мережах постійного струму), який служить для створення ланцюга з малим опором для струму замикання мережі на корпус і перетворення цього замикання в коротке замикання; робоче заземлення (заземлення нейтралі трифазного джерела, виведення однофазного джерела або середньої точки джерела постійного струму, R_0); повторне занулення нульового захисного проводу (заземлення виконане через певні проміжки по всій довжині нульового захисного проводу, R_{Π}).

Вимоги зануленню складаються наступному: провідники занулення вибираються так, щоб при замиканні на корпус або на нульовий захисний провід виникав струм короткого замикання перевищуючий не менше ніж в три рази номінальний струм плавкого елемента найближчого запобіжника, або нерегульованого розчеплювача або установку струму регульованого розчеплювача автоматичного вимикача з зворотнозалежною від струму характеристикою.

Безпека експлуатації устаткування забезпечується поруч організаційних і технічних мір захисту: застосуванням малих напруг, захисним поділом мереж, контролем і профілактикою ушкодження ізоляції, подвійною ізоляцією, забезпеченням неприступності струмоведучих частин, захисним зануленням, захисним відключенням, застосуванням засобів індивідуального захисту та ін.

6.6 Надзвичайні ситуації

1) Серед причин, що можуть викликати загорання, найбільш імовірними є такі:

- несправність електроустаткування;
- струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення;
- загорання ізоляції електропроводки;
- загорання сировини ПЕВГ;
- використання вогню в неналежному місці.

Згідно з ОНТП 24 - 86 приміщення проектованої машини для лиття під тиском відноситься до категорії В – пожежонебезпечні, так як містить горючі речовини, клас зони П – Па (ПУЕ). Згідно з СН П 2.01.02-85 приміщення відноситься до першого ступеню вогнетривкості.

2) Запобігання запалення забезпечується такими мірами:

- дотриманням технологічних норм і правил експлуатації;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- палінням тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасним проведенням інструктажу з техніки безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- організацією агітації по протипожежній безпеці;
- наявністю засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявністю засобів пожежогасіння в безпосередній близькості від установки (пісок, ковдри, вогнегасники).

Для гасіння невеликих ділянок загорання при виключеному та включеному (до 1000В.) електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (6 шт.) та порошкові ОП-10 (3 шт.).

У приміщенні встановлені пожежні гідранти, теплові сповіщувачі, які спрацьовують при підвищенні температури до вище заданої межі. Засобом захисту статичної електрики є занулення.

Первинними засобами гасіння пожежі є порошкові вогнегасники ДСТУ 3105 Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286 у кількості:

- "САМ-6", "САМ-9" 10 шт;
- ящики з піском - 5 шт;
- гасіння (стаціонарне, ручне);
- пожежні гідранти - 4 шт.

В установках пожежогасіння (порошкових закачних) існує принцип дії суміщення з принципом дії теплового замка, що дозволяє використовувати "САМ-3", "САМ-6", САМ-9" для протипожежного захисту об'єктів без участі людини для гасіння пожеж: класа А (горіння твердих речовин), класа В (горіння рідких речовин), класу С (горіння газоподібних речовин) згідно ГОСТ 27331-87, а також електроустановок, кабельних тунелів під напругою до 1000В. Установки також можуть застосовуватися в якості автономного засобу пожежогасіння для захисту невеликих за об'ємом об'єктів (гаражних боксів, контейнерів, дизельних відсіків, складів і т.п).

Установки виготовляються в кліматичному виконанні. У категорії розміщення 3 по ГОСТ 15150 для роботи при температурах від -20 до + 50С при відносній вологості повітря до 95%.

У приміщенні, де розташовується установка, на відстані 30 метрів одне від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу не більше 40 метрів.

Кількість виходів - не менше двох. Ширина ділянки шляху евакуації 1,5 м., ширина дверей еваковиходу - 1 метр. Двері еваковиходу повинні відкриватись на зовні, що відповідає СНиП 2.09.02-85.

Згідно ПУЕ на заводі споживачі електроенергії виробничого цеху відноситься до 1 категорії надійності електропостачання.

3) Пожежа при роботі машини для лиття під тиском може виникнути ще й по наступним причинах:

- ремонт устаткування на ходу;
- несправне устаткування (коротке замикання, перевантаження, великі перехідні опори);
- знос і корозія устаткування.

7 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

7.1 Ідея стартап-проекту

Ідея стартап проекту полягає у виготовлення деталей на замовлення за допомогою програмного забезпечення Moldex 3D, яке допомагає підібрати оптимальні вихідні данні для виготовлення деталі, що мінімізують деформацію, що сприяє покращенню якості і зниженню відсотка браку.

7.2 Цільова аудиторія, клієнт

Підприємства, які потребують певні деталі, проте не мають змоги їх виготовляти власноруч!

Майбутні роботодавці. За допомогою цього проекту студенти отримають досвід роботи за професією, що цінується роботодавцем.

ВНЗ, які матимуть змогу відправляти студентів на практику.

7.3 Конкуренти

Підприємства, що виготовляють литі пластмасові вироби, такі як: ТзОВ "Пластмодерн", ВАТ "Завод полімерних матеріалів" , Flexx.

7.4 Основна конкурентна перевага

- Міцність даного матеріалу становить 76%, що є високим показником на ринку.
- Зручна доставка завдяки поштовим службам або самовивіз.

7.5 Етап життєвого циклу ринку та актуальність стартапу

Життєвий цикл - це концепція, яка описує збут товару, прибуток, поведінка споживачів з моменту виведення товару на ринок до його відходу з ринку.

На даному етапі життєвого циклу наш ринок знаходиться на етапі зростання.

Враховуючи вище написані факти і доводи, можна сказати, що наш стартап-проект дуже актуальний сьогодні, адже динаміка ринку постійно збільшується, ринок поки не надто переповнений.

7.6 Ресурси

7.6.1 Програмне забезпечення

Пріоритетним є максимальне використання комп'ютерних технологій та поєднання пристроїв українського походження у симбіозі з імпортним.

7.6.2 Маркетингові

Створити сайт, розкрутити через соціальні мережі, розвісити оголошення на стендах різних міст неподалік до підприємств, дати оголошення у мережеві дошки оголошень, проведення краш тестів продукції та висвітлення це на ютуб.

7.6.3 Трудові

Кваліфікований персонал. Можливе поєднання з випускниками та студентами ВНЗ України.

7.6.4 Правові

Забезпечення трудової бази, офіційного працевлаштування, обов'язкового страхування, соціального пакету.

7.7 Аналіз факторів макромаркетингового середовища

Таблиця 7.1 – Підсумкова таблиця факторів політико-правового середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Політико-правове середовище країни-партнера	Продаж товару за кордон	Відносини між країнами	Необхідність закупки компонентів для виготовлення товару з різних країн
Зовнішня політика країни	Продаж товару за кордон. Закупівля компонентів для виготовлення товару	Відносини між країнами	Необхідність реалізації товару в різних країнах. Необхідність закупки компонентів для виготовлення товару з різних країн

Таблиця 7.2 – Підсумкова таблиця факторів економічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Рівень розвитку виробництва	зникнення слабких конкурентів	зниження прибутку	приймати оплату у доларах
Конкуренти, які створюють дешевшу продукцію	залучення нових інвесторів	втрата старих інвесторів	постійна робота над покращенням підприємства для збереження старих відносин та залучення нових інвесторів

Таблиця 7.3 – Підсумкова таблиця факторів науково-технічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Впровадження нових технологій	підвищення якості продукту	додаткові витрати	контроль технологічного процесу
Підвищення швидкості збуту	зростання обсягів збуту	неспроможність виготовляти потрібну кількість продукту	збільшення ринку збуту

Таблиця 7.4 – Підсумкова таблиця факторів природного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Відсутність опалення через аварії на ТЕЦ		Неможливість працівникам працювати	Встановлення автономного опалення
Погана погода		Неможливість транспортування	Окремі пункти у договорі про можливі додаткові дні поставок у зв'язку з погодними умовами

7.8 Аналіз факторів мікроринкового середовища

Таблиця 7.5 – Підсумкова таблиця впливу споживачів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
фактори, що впливають на поведінку споживача	висока якість матеріалу, доступність, ціна	незацікавленість продукцією	акції та знижки
фактори, що впливають на прийняття рішення про купівлю товару	індивідуальна праця з кожним клієнтом	конкуренти	акції та знижки

Таблиця 7.6 – Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Товари замінювачі	мала кількість товарів замінювачів	велика кількість товарів замінювачів	рекламування саме нашого товару
Галузеві конкуренти	зменшення конкурентів	збільшення конкурентів	стати більш конкурентоспроможними

Таблиця 7.7 – Підсумкова таблиця впливу постачальників

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можли вості	Загрози	
Ціни постачальників	низькі ціни	підвищення ціни	співпрацювання з постачальниками на вигідних умовах
Сервісне обслуговування з боку постачальників	наявність	відсутність	співпрацювання з постачальниками на вигідних умовах

Таблиця 7.8 – SWOT- аналіз

<i>Сильні сторони</i>	<i>Слабкі сторони</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Надійна продукція - Контракти з торговими точками 	<ul style="list-style-type: none"> - Ціна вища ніж у конкурентів - Конкуренти, які створюють продукцію новітніми технологіями, бренди
<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Заощадження на зарплаті - Брати студентів на роботу 	<ul style="list-style-type: none"> - Люди не будуть купляти товар - Зниження якості роботи

	- Збільшення часу виготовлення продукції
--	--

Висновки до розділу 7

1. Розроблено стартап-проект, об'єктом якого є розробка
2. Визначенні цільова аудиторія, конкуренти та конкурентна перевага.
3. Вирахувано бюджет та визначено ресурси на запуск стартапу.
4. Наведено SWOT-аналіз.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської дисертації можна зробити такі висновки:

1. Аналіз джерел дозволив встановити фактори, які впливають на наявність та ширину зони змінених властивостей.
2. . Запропонована нова інтерпретація математичної моделі орієнтації волокон та молекул в процесі лиття під тиском.
3. Розроблена математична модель впливу орієнтації на механічні властивості полімерного виробу.
4. Проведені числові дослідження процесу лиття дозволили встановити вплив температури форми, розплаву, тиску та часу заливки на параметри зони змінених властивостей.
5. Проведеними числовими дослідженнями встановлено залежність ширини зони змінених властивостей від зазначених раніше показників, і було виявлено, що за деяких значень збільшується ймовірність виникнення дефектів у вигляді лінії спаю та зони змінених властивостей.
6. Проведені числові дослідження показали залежність механічних властивостей виробу від ширини зони змінених властивостей, встановлено що зменшення ширини зони збільшує загальні механічні характеристики виробу.
7. Знайдено засоби зменшення такого виду дефекту, як лінія спаю, для чого необхідно збільшувати температуру розплаву та форми і час вприску та знижувати тиск лиття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Производство изделий из полимерных материалов : Учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. Санкт-Петербург : Профессия, 2004. 464 с.
2. Сокольський О.Л., Дагдій В.М. Моделювання процесу видуву ПЕТ-тари із преформ / Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2018. – №1(17). – С. 60–65.
3. Сокольський О.Л., Івіцький І. І., Олексишен В.О. Моделювання течії розплавів полімерів за наявності низьков'язкого пристінного шару / Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2019. – №1(18). – С. 35-40.
4. Сокольський О.Л., Сімончук Є. П. Моделювання усадки полімерного виробу в процесі лиття під тиском / Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2019. – №1(18). – С. 119-125.
5. Сокольський О.Л., Дагдій В.М. Моделювання процесу видуву ПЕТ-тари із преформ / Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2018. – №1(17). – С. 60–65.
6. Сокольський О.Л., Івіцький І. І., Олексишен В.О. Моделювання течії розплавів полімерів за наявності низьков'язкого пристінного шару / Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2019. – №1(18). – С. 35-40.
7. Влияние линии спая
Режим доступу:
http://www.barvinsky.ru/articles/art_039_troubleshooting_weld-lines_2009.htm

8. Weld Line Structures and Properties in Injection Molded \ Polypropylene \S. C. MALGUARNERA, A. I. MANISALI, and D. C. RIGGS\Plastics Engineering Laboratory\ Department of Mechanical Engineering\Texas AbM University\College Station, Texas 77843:
9. PREDICTION OF FIBER MICROSTRUCTURE FOR INJECTION MOLDING:\ORIENTATION, DEGRADATION, AND CONCENTRATION\ Huan-Chang Tseng*, Yuan-Jung Changg, Chia-Hsiang Hsu \CoreTech System (Moldex3D) Co., Ltd., Chupei City, Hsinchu County, 30265, Taiwan\Rong-Yeu Chang\ National Tsing-Hua University, Hsinchu City, 30013, Taiwan
10. G. Fischer, P. Schwarz, U. MueUer, and U. Fritz\Institut fur KunststoffJPrufung und Kunststofflunde,\Universitat Stuttgart, Pfaffenwaldring 32,\7000 Stuttgart 80, Federal Republic of Germany
11. Effect of Processing on Weld Line Strength in Five\Thermoplastics\R. SELDEN\ Swedish Institute for Iiliber and Polymer Research\S-431 22 Mdndal, Sweden
12. AN IMPROVED FOLGAR–TUCKER MODEL FOR RETARDING TRANSIENT\BEHAVIOR OF ORIENTATION KINETICS IN SHORT FIBER SUSPENSION\ Huan-Chang Tseng,¹ Yuan-Jung Chang,² Chia-Hsiang Hsu,² and Rong-Yeu Chang³\¹ Molecular Dynamics Technology Co. Ltd., ChuPei City, Hsinchu, 30265, Taiwan \ ² CoreTech System (Moldex3D) Co., Ltd., ChuPei City, Hsinchu, 30265, Taiwan\³ National Tsing-Hua University, HsinChu City, 30043, Taiwan
13. S. T. CHUNG *and* T. H. WON* Department of Mechanical Engineering Pohang University of Science and Technology Pohang, Korea / *POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, MID-APRIL 1995, Vol. 35, No. 7*/Numerical Simulation of Fiber Orientation in Injection Molding of Short-Fiber-Reinforced Thermoplastics
14. S. T. CHUNG and T. H. WON* Department of Mechanical Engineering Pohang University of Science and Technology Pohang, Korea / *POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, MID-APRIL 1995, Vol. 35, No. 7*/Numerical Simulation of Fiber Orientation in Injection Molding of Short-Fiber-Reinforced Thermoplastics

15. Matthews F. L., Rawlings Rees D.. Composite Materials: Engineering and Science. Woodhead Publishing, 1999 – 470 p.
16. Lubin George. Handbook of Composites. Springer US, 1982. – 786 p. Doi: 10.1007/978-1-4615-7139-1.
17. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
18. Арзамасцев С. В. / Полный факторный эксперимент. – Саратов, РИЦ СГТУ. 410054 /2009 – 20с.

ДОДАТОК А

Копії статей, доповідей та тез доповідей, патентів

TECHNICAL SCIENCES

ВПЛИВ ЗОНИ СПАЮ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛИТИХ ПЛАСТМАСОВИХ ВИРОБІВ

Гур'єва А. О.,

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, студентка

Гур'єва Л. Н.,

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, асистент

Сокольський Олександр Л.

к.т.н., доцент, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, доцент

THE INFLUENCE OF THE CONNECTION ZONE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CASTED PLASTIC PRODUCTS

Hurieva A.,

student at Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv

Hurieva L.,

assistant

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv

Sokolskyi A.

PhD, Associate Professor, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv

Анотація:

Представлено математичну модель та результати числового моделювання утворення дефекту лиття під тиском у вигляді ліній спаю. Встановлено технологічні параметри, які впливають на його утворення, а також залежність ширини зони змінених властивостей від зазначених показників. Визначено зниження механічних параметрів змодельованого зразка у зоні спаю.

Abstract:

The mathematical model and the results of numerical modeling of the formation of a defect in injection molding in the form of weld lines are presented. The technological parameters that influence its formation, as well as the dependence of the width of the zone of the changed properties on the indicated indicators are established. The decrease of the mechanical parameters of the modeled sample in the junction zone is determined.

Ключові слова: лиття під тиском; лінія спаю; міцність; моделювання

Keywords: injection molding; weld line; strength; modeling

Вступ. На сьогоднішній день широке застосування в різних областях техніки знаходять вироби з термопластів. Такі якості термопластів, як незначна питома вага, низька теплопровідність, діелектричні властивості і відносна простота переробки, роблять їх незамінними матеріалами для виробів і конструкцій широкого призначення. Одним з основних методів переробки термопластів є лиття під тиском.

Лиття під тиском – один з найбільш популярних методів переробки пластмас, який полягає в заповненні площини форми через ливниковий канал розплавленим полімерним матеріалом з послідовним його ущільненням і фіксацією форми за рахунок охолодження. Лиття під тиском дозволяє отримати вироби складної форми з арматурою, з елементами точних розмірів, з мінімальними відходами [3].

Одним з головних недоліків процесу лиття під тиском є поява лінії спаю в місці стику потоків розплаву.

Спаї є характерною ознакою багатьох виробів з термопластичних полімерних матеріалів, що виготовляються литтям під тиском, і спричиняють по-

гіршення зовнішнього вигляду виробів, їх розмірної точності, короточасних і довготривалих механічних властивостей, а також небажаної зміни їх теплофізичних, електричних та інших характеристик

Зазвичай спай є найслабшим місцем литого виробу, що проявляється при різних механічних випробуваннях. Міцність спаю зазвичай характеризують його відносною міцністю, яка представляє собою відношення міцності зразка зі спаєм до міцності зразка без спаю, виражене в частках або відсотках [2].

Постановка проблеми. S. C. Malguarnera [7] в своїй роботі досліджує структури та властивості зварювальних ліній у формованих формах. У випробуваннях було показано, що на досліджуваний ефект впливають температури розплаву та форми, тиск і швидкість впорскування. Підвищена температура розплаву поліпшила зварювання межі міцності в матеріалах з низьким показником в'язкості, але вони не мали настільки значного ефекту при високій в'язкості розплаву. Підвищена швидкість вприску при низькій температурі розплаву покращила міцність зварювання при низькій в'язкості, але зна-

чно меншою мірою, ніж у попередніх двох факторів. Швидкість охолодження мало впливає на міцність і на зварювання всіх матеріалів, крім низьково'язких.

Хуан-Чанг Ценг в своїй роботі [5] досліджує армовані термопластичні композиційні матеріали. Однак мікроструктура волокон є складним питанням, в тому числі – орієнтація волокон, довжина волокон і концентрація волокон, що призводить до анізотропії в механічних властивостях та несподіваного перекосу формованих деталей.

На сьогоднішній день залишається недостатньо вирішеним питання впливу технологічних параметрів лиття на механічні характеристики полімерних виробів у зоні спаю.

Мета роботи. Метою досліджень є аналіз чинників утворення спаїв та їх механічних характеристик. В даній роботі використано програму Moldex3D.

Для проведення необхідних розрахунків було задано граничні та початкові умови:

- Форма і розміри формуючої порожнини;
- Температура розплаву та стінок форми;
- Максимальний тиск інжекції та усадки.

Основна частина. Рух ньютонівської в'язкої рідини в деякій області течії описується рівняннями нерозривності, руху (Нав'є – Стокса), рівнянням збереження внутрішньої енергії, а також і рівнянням стану [4]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} &= 0; \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u} - \boldsymbol{\sigma}) &= 0; \\ \rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla T \right) &= \nabla \cdot (k \nabla T) + \eta \gamma^2; \\ \boldsymbol{\sigma} &= -P \mathbf{I} + \eta (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T),\end{aligned}$$

де ρ – густина; \mathbf{u} – вектор швидкості; t – час; $\boldsymbol{\sigma}$ – загальний тензор напружень; g – вектор прискорення сили тяжіння; P – тиск; η – в'язкість; C_p – питома теплоємність; T – температура; k – теплопровідність; γ – швидкість зсуву.

Зазвичай спай є найслабшим місцем литого виробу, що проявляється при різних механічних випробуваннях. Розглянемо вплив спаю на властивості міцності виливків при розтягуванні. Міцність спаю зазвичай характеризують його відносною міцністю, яка представляє собою відношення міцності (або межі текучості) зразка зі спаєм до міцності (або межі текучості) зразка без спаю, виражене в частках або відсотках. Міцність спаїв при розтягуванні вивчають на зразках у вигляді лопаток, які відливають в спеціальних формах відповідно з двома або одним впусканням або вирубують із реальних виробів. Випробувані зразки дозволяють врахувати вплив геометрії виробу і розташування місць впуску, а також орієнтаційні ефекти.

Існує кілька різних підходів для опису орієнтації молекул. Найпростіша форма – скалярний кут між молекулою і однією з опорних осей. У будь-якій частині лиття під тиском є молекули, орієнтовані у багатьох напрямках. Одне орієнтування не

може описати дійсний стан орієнтації молекул. Найбільш повним, хоча і складним, способом опису стану орієнтації є використання функції розподілу ймовірності ψ , яка пов'язана з одиничним вектором \mathbf{r} вздовж вісі молекул, що вказує орієнтацію. Функція розподілу $\psi(p, t)$ визначена таким чином, що вона дає ймовірність молекулі, що має вирівнювання у напрямку \mathbf{p} . Ймовірнісна функція розподілу повинна бути періодичною і нормованою, і вона повинна відповідати умові безперервності.

В даній роботі було здійснене комп'ютерне моделювання двостороннього лиття зразка з утворенням стику двох потоків розплаву. При цьому аналізувався розрахований програмою розподіл орієнтації волокон наповнювача в полімері.

На рис. 1 показано приклад результатів моделювання розподілу орієнтації волокон у зразках матеріалу Durethan BG 40X, отриманих за різних технологічних режимів.

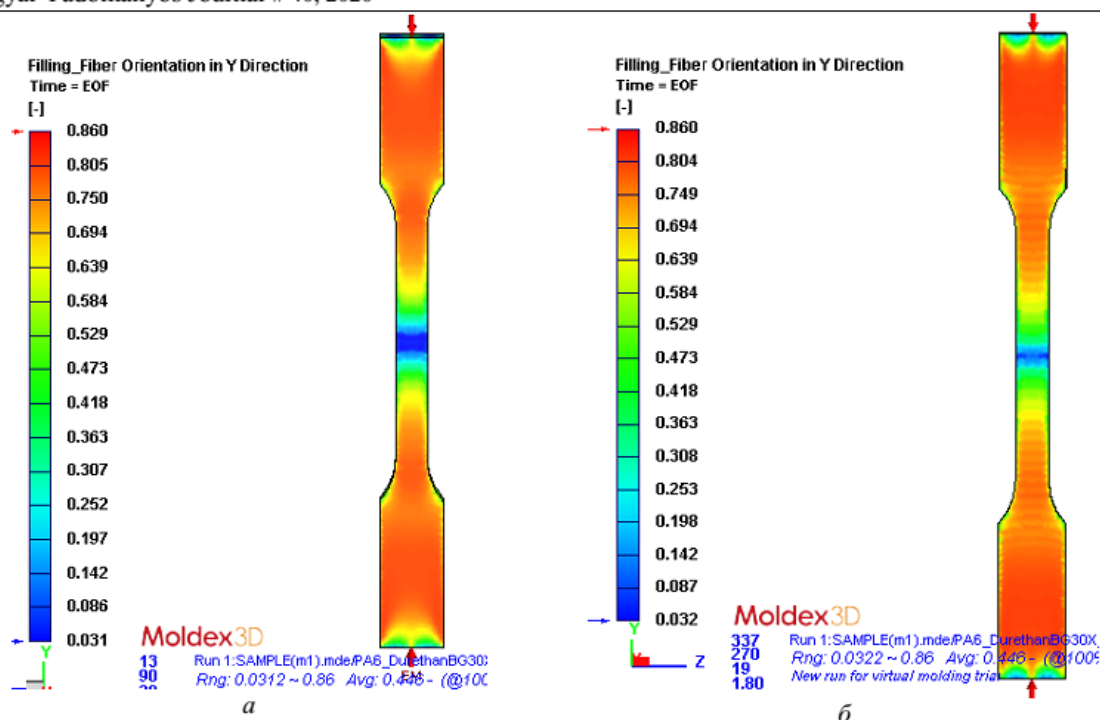


Рис. 1 Розподіл орієнтації волокон при інжекційному тиску 100 МПа, тиску усадки 10 МПа, температурі форми 90°C, часі інжекції 0,7с:
 а – температури розплаву від 270 до 274°C;
 б – температури розплаву від 275 до 290°C

З рис. 1 можна побачити, що за певного збільшення температури розплаву ширина зони змінних властивостей різко зменшилась.

Модуль пружності волокнистого композиційного матеріалу в напрямі орієнтації волокон в першому наближенні, без урахування їхньої форми та між-фазної взаємодії, можна визначити за правилом адитивності [6]:

$$E_1 = E_f \psi + E_m (1 - \psi),$$

де E_f – модуль пружності волокон; E_m – модуль пружності полімеру; ψ – об'ємна доля волокон у матеріалі.

В напрямі поперек волокон у спрощеному вигляді [8] модуль пружності композиційного матеріалу

$$E_2 = \frac{E_m}{1 - \psi}.$$

Таким чином, такий композиційний матеріал

володіє ортотропними механічними властивостями, які описуються відносно напрямку орієнтації функціями еліптичного виду [1]. Згідно з ними ефективний модуль пружності на обраному напрямку під кутом j до напрямку орієнтації волокон

$$E_\varphi = \frac{E_2}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \varphi}},$$

де e – ексцентриситет еліпса, $e = \sqrt{1 - \frac{E_2^2}{E_1^2}}$.

Верифікацію наведених залежностей виконано для обраного матеріалу, механічні властивості якого мають такі значення: $E_f = 70$ ГПа; $E_m = 2,3$ ГПа; $\psi = 0,05$. Відповідно до цих значень побудовано графік залежності ефективного модуля пружності матеріалу від кута між середнім напрямком орієнтації волокон та дією зусилля (рис. 2).

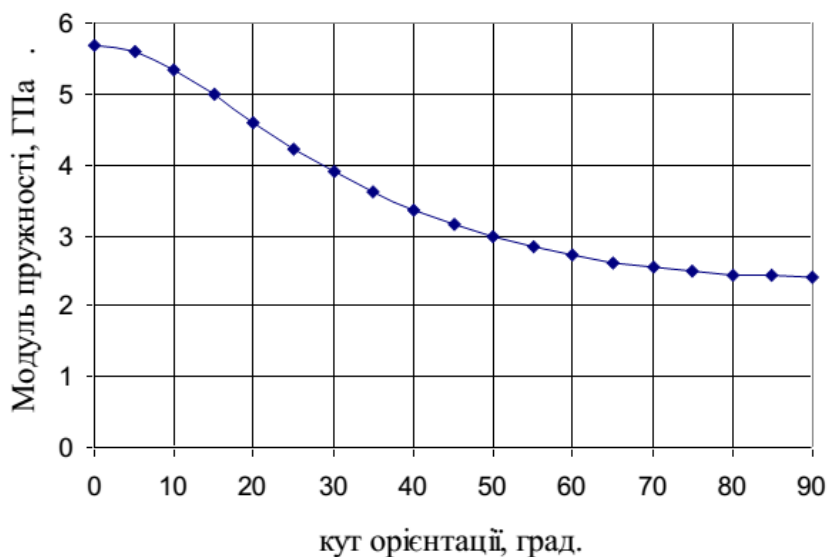


Рис. 2 Залежність ефективного модуля пружності матеріалу від кута орієнтації волокон

Стану неорієнтованого матеріалу відповідає середній кут орієнтації волокон, рівний 45° , для якого ефективний модуль пружності згідно розрахунків становить 3,15 ГПа. Водночас, паспортне значення модуля пружності для даного матеріалу з бази матеріалів програми Moldex 3D становить 3,3 ГПа, що відрізняється від розрахункового на 4,5%. Величина похибки є допустимою, що свідчить про коректність наведених залежностей.

Приймаючи матеріал пружним, можна вважати межу його міцності пропорційною модулю пружності в даному напрямку відносно напрямку орієнтації волокон, тобто

$$\sigma_1 = \sigma_f \psi + \sigma_m (1 - \psi),$$

де σ_f – межа міцності волокон; σ_m – межа міцності полімеру.

Аналогічно, коефіцієнт Пуассона можна представити як

$$\mu_1 = \mu_f \psi + \mu_m (1 - \psi),$$

де μ_f – коефіцієнт Пуассона для волокон; μ_m – коефіцієнт Пуассона для полімеру.

Відповідно до цього, можна визначити коефіцієнт відносної міцності матеріалу залежно від кута між середнім напрямком орієнтації волокон та дією зусилля як відношення ефективного модуля пружності у цьому напрямку до модуля пружності неорієнтованого матеріалу (рис. 3).

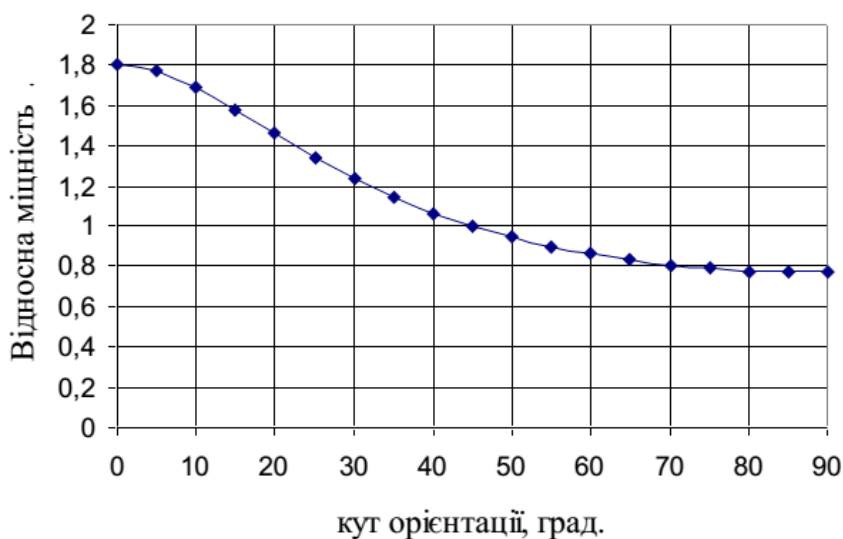


Рис. 3 Залежність коефіцієнта відносної міцності матеріалу від кута орієнтації волокон

З рис. 3 витікає, що в поперечному до орієнтації волокон напрямку міцність даного матеріалу становить 76%, а для повністю орієнтованих волокон – 180% від неорієнтованого.

Відповідно до цього, міцність зразка в зоні спаю за вказаних на рис. 1 умов становить 77% від міцності суцільного зразка.

Висновки

Аналіз джерел дозволив встановити фактори, які впливають на наявність та ширину зони змінених властивостей.

Проведені числові дослідження процесу лиття дозволили встановити вплив температури форми, розплаву, тиску та часу заливки на параметри зони змінених властивостей.

Проведеними числовими дослідженнями встановлено залежність ширини зони змінених властивостей від зазначених раніше показників, і було виявлено, що за деяких значень збільшується ймовірність виникнення дефектів у вигляді лінії спаю та зони змінених властивостей.

Список літератури

1. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2002. – 384с.
2. Проблемы литья под давлением изделий из ПМ: спаи / И.А. Барвинский, И.Е. Барвинская: Полимерные материалы. 2009. № 7. С. 25-33.
3. Производство изделий из полимерных материалов : Учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. Санкт-Петербург : Профессия, 2004. 464 с.

4. Chung S. T. and. Won T. H\ Department of Mechanical Engineering Pohang University of Science and Technology Pohang, Korea / Polymer engineering and science, 1995, Vol. 35, No. 7/ Numerical Simulation of Fiber Orientation in Injection Molding of Short-Fiber-Reinforced Thermoplastics.

5. Huan-Chang Tseng, Yuan-Jung Chang, Chia-Hsiang Hsu \ Prediction Of Fiber Microstructure For Injection Molding:\Orientation, Degradation, And Concentration\ CoreTech System (Moldex3D) Co., Ltd., Chupei City, Hsinchu County, 30265, Taiwan\Rong-Yeu Chang\ National Tsing-Hua University, Hsinchu City, 30013, Taiwan.

6. Lubin George. Handbook of Composites. Springer US, 1982. – 786 p. Doi: 10.1007/978-1-415-7139-1. Selden R \ Effect of Processing on Weld Line Strength in Five\Thermoplastics\ Swedish Institute for Iiliber and Polymer Research\S-431 22, Sweden

7. Malguarnera S. C., A. I. Manisali, and D. C. Riggs\ Weld Line Structures and Properties in Injection Molded \ Polypropylene \Plastics Engineering Laboratory\ Department of Mechanical Engineering\Texas AbM University\College Station, Texas 77843.

8. Matthews F. L., Rawlings Rees D.. Composite Materials: Engineering and Science. Woodhead Publishing, 1999 – 470 p.

ENGINEERING APPROACH TO THE DETERMINATION OF THE RADIATION FIELD OF A POLYETHYLENTEREPHTHALATE (PET) MEDIUM UNDER RADIANT HEATING

D. É. Sidorov, A. E. Kolosov, O. V. Pogorelyi,
and A. A. Gur'eva

UDC 678.025.2

An engineering approach to the determination of the radiation field of the PET medium under radiant heating is proposed. Instead of the reverse counting procedure for determining the radiation intensity in the negative direction, we make a correction that has a superposition character and can be determined through the reflection coefficient at the boundary and the already determined radiation field in the positive direction inverted in the coordinate direction. The structure of the given approach provides a reasonable balance between the adequacy of calculations and the computational resource consumption and permits estimating quickly the necessary machine time expenditures.

Keywords: polyethyleneterephthalate (PET), radiant heating, semitransparent medium, radiation field, numerical calculation.

Radiant heating of polyethyleneterephthalate (PET) is often used in the technological processes of making PET articles. Warming up of PET blanks in the process of pneumo- and vacuum molding and heating of PET preforms for blowing up in producing bottles occur mainly due to the radiant heating in the infrared radiation field. The arrangement and geometry, the radiation spectrum, and the directivity diagram of industrial radiation sources in these technological processes may be different. For example, the IK infrared source radiating effectively in the 0.7–1.6 μm wavelength range can be regarded as a point source with a semispherical directivity diagram. KGT and KGTD radiators operating in the range of wavelengths from 0.6 to 2.2 μm can be regarded as radiation sources extended in one longitudinal direction with a uniform directivity diagram circular in the transverse plane.

Analysis of the properties of the radio emission of semitransparent media was carried out by many authors. For example, the authors of [1] investigated the absorbing and reflecting properties of the optical medium, as well as their dependence on the optical thickness. Most researchers calculate the reflection coefficient by the Walsh–Dankl formulas [1–3]. The approaches to the calculation of the radiation component for a heated semiconductor medium are given in [2, 4]. They are based on the construction and solution of the system of differential equations for determining the radiation field of the semitransparent medium. The influence of the radiation scattering and the mathematical modeling of the scattering indicatrix were considered in [4, 5].

Thus, to date a sufficient theoretical base for calculating and investigating the radiation fields of semitransparent media has been developed. It should be noted that all the above investigations are based on complex resource-consuming algorithms. They are difficult to use in applied engineering calculations. This explains the absence of publications on results of applied calculations and the development of engineering methods for determining the radiation components of heat flows in the process of heating PET blanks.

The aim of the present paper was to develop an engineering approach for determining the radiation fields of a PET medium based on simple algorithms that permits quick estimation of the influence of the collimated and the noncollimated components of the radiation field.

The thermal processes in the PET medium under radiant heating are rather slow compared to the processes of radiation field formation, since the latter proceed actually at the velocity of light. Thus, there is a possibility to separate the radiation transfer equation from the energy equation and consider the problem of determining the radiation field separately from the problem of calculating the temperature fields. In this case, at each stage of radiation field calculation the temperature fields are assumed to be "frozen" and known. Hence the physical quantities describing the temperature-dependent optical

National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnical Institute," 37 Pobedy Ave., Kiev, 03056, Ukraine; email: dsts1@ukr.net. Translated from *Inzhenerno-Fizicheskii Zhurnal*, Vol. 88, No. 6, pp. 1364–1369, November–December, 2015. Original article submitted December 23, 2015.

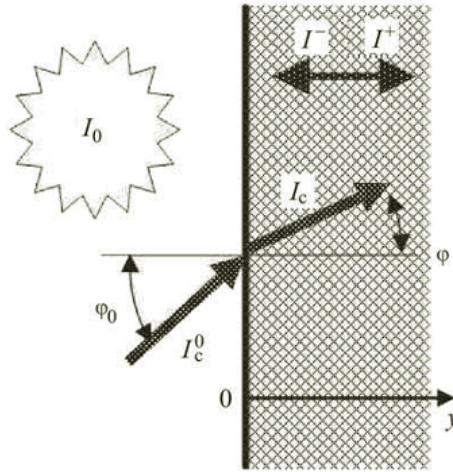


Fig. 1. Scheme of the action of radiation on the PET medium.

properties of the PET medium have constant values corresponding to the radiation frequency and the temperature at a given point in the space.

The radiation field of the PET medium consists of two components:

$$I^{\Sigma} = I + I_c. \quad (1)$$

The nocollimated radiation source is the environment, and the collimated radiation sources are infrared heat radiators.

The action of the radiation on the PET medium under radiant heating is schematically represented in Fig. 1. The Bouguer–Lambert law defines the exponential decrease in the collimated radiation intensity depending on the depth of its penetration into the semitransparent medium:

$$I_c = I_c(0) \exp \left(- \int_0^l \frac{K(y)}{\cos \varphi} dy \right). \quad (2)$$

The amplitude value of the collimated radiation intensity is calculated by the relation

$$I_c(0) = (1 - \rho_0) I_c^0, \quad (3)$$

where the reflection coefficient ρ_0 is determined according to the Fresnel law by the Walsh–Dankl formulas [2, 3]:

$$\begin{aligned} \rho_0 = & \frac{1}{2} + \frac{(n_0 - 1)(3n_0 - 1)}{6(n_0 + 1)^2} - \frac{2n_0^3(n_0^2 + 2n_0 - 1)}{(n_0^2 + 1)(n_0^4 - 1)} \\ & + \frac{8n_0^4(n_0^4 + 1)}{(n_0^2 + 1)(n_0^4 - 1)^2} \ln n_0 + \frac{n_0^2(n_0^2 - 1)^2}{(n_0^2 + 1)^3} \ln \frac{n_0 - 1}{n_0 + 1}, \end{aligned} \quad (4)$$

where n_0 is the relative refractive index for the radiation incident on the PET medium from the outside.

The noncollimated radiation field is determined with account for the Kirchhoff law by the transfer equation of the following form:

$$\gamma \frac{\partial I}{\partial y} = -\omega I + \alpha B(T) + \beta J, \quad (5)$$

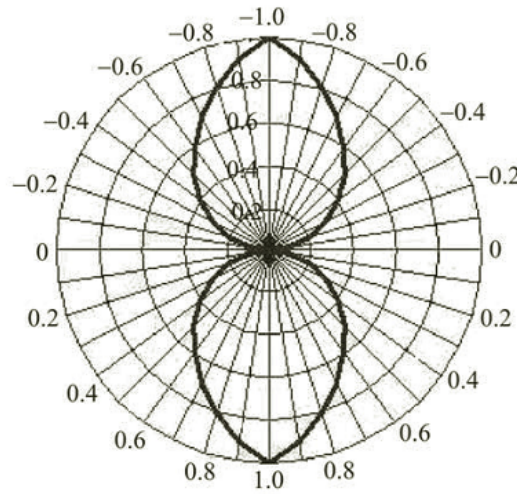


Fig. 2. Diagram of the scattering indicatrix $p = p(\gamma)$; all quantities are dimensionless.

where

$$B(T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3 \left(\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right)}, \quad (6)$$

$$J = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 p I d\gamma + \frac{1}{4\pi} p I_c. \quad (7)$$

The scattering indicatrix $p = p(\gamma)$ is usually determined by the Legendre polynomial expansion [4]:

$$p = A_0 + \sum_{i=1}^{ni} A_i p_i. \quad (8)$$

The number of polynomial terms should be limited, and the values of $p = p(\gamma)$ should be determined separately for the positive and the negative directions of radiation propagation. However, satisfactory results are given by the analytical dependence obtained by the authors by means of simple modification of the equation proposed by L. V. Labunov and A. V. Popov [5]:

$$p = \left| 1 - A_1 \left(1 - \frac{B_1^2 \gamma}{1 - \gamma^2 + B_1^2 \gamma^2} \right) - A_2 \left(1 - \frac{B_2^2 \gamma}{1 - \gamma^2 + B_2^2 \gamma^2} \right) \right|, \quad (9)$$

where A_1, B_1, A_2 , and B_2 are coefficients. Figure 2 presents graphically the scattering indicatrix (9) for the case of $A_1 = A_2 = 0.5$, $B_1 = B_2 = 1$.

The boundary conditions for Eq. (5) should take into account the radiation from both the outside and the inside of the PET medium:

$$\gamma > 0, \quad y = 0, \quad I(0) = \rho_0 I^-(0) + (1 - \rho_0) I_0, \quad (10)$$

where I^- is the radiation intensity in the negative direction at the boundary of the PET medium.

If the PET medium has one more boundary (physical or due to the formation of the internal plastic-melt transition), then at this new boundary the boundary conditions will be formally the same as conditions (10). In spite of the fact that the reflected radiation flow can already make an insignificant contribution to the total radiation intensity (does not exceed units of percent of the boundary conditions), it is still necessary to calculate the radiation flow in the opposite direction. In this case,

it is necessary to take into account the reflected radiation intensity for the negative direction and make a correction for the values of the already calculated field.

To decrease the resource consumption of calculations, the following engineering approach is proposed. Instead of the reverse counting by dependences (5)–(10), a correction having a superposition character is made, and it can be determined through the reflection coefficients at the boundary and the already determined radiation field inverted in the coordinate direction y . Then the following additional iteration procedure will be needed:

$$I_{j+1}^{\Sigma} = I_j^{\Sigma} + \rho_{inv} (I + I_c)_j, \quad (11)$$

where j is the number of the iteration run on the y coordinate.

Thus, to describe the radiation field of the PET medium, it is enough to use, instead of the differential equations [2, 4], one dependence (2), one differential equation (5) with boundary conditions (10), and procedure (11). Such an approach decreases considerably the resource consumption of calculations. Moreover, these same dependences can also be used formally on the basis of the superposition principle for the radiation sources acting additionally on the PET medium in the negative direction.

It should be noted that the coefficients α , β , and n_0 are functions of the radiation frequency and the properties of the PET medium at a certain temperature. Therefore, the radiation field based on the spectral coefficients has a spectral character and should be determined for the corresponding radiation wavelengths. Then the integral value of the radiation intensity can be obtained by the integration over the entire frequency range under consideration:

$$I^S = \int_{\nu_1}^{\nu_2} I^{\Sigma} d\nu. \quad (12)$$

In the case of a spectrum that can be represented by discrete bands, Eq. (12) can be replaced by the sum over all m frequency bands $\Delta\nu_m$:

$$I^S = \sum_m I_m^{\Sigma} \Delta\nu_m. \quad (13)$$

The scheme of the numerical calculation of the transfer equation (5) in view of (6)–(8) can be written in the following form:

$$\gamma I_{i+1} = \gamma I_i - h\omega I + h\alpha B(T) + h\beta \left(\int_{-1}^0 p I^- d\gamma + \int_0^1 p I^+ d\gamma + p \frac{I_c}{4\pi} \right), \quad (14)$$

where i and h stand for the number of the computational mesh and its width. For the explicit computational scheme in Eq. (13) $I = I_i$ is assumed, and for the implicit scheme $I = I_{i+1}$ is assumed.

The stability conditions will be the restriction on the amplification coefficient $|q| < 1$. For the explicit scheme it is determined in the following way:

$$q = 1 + h \frac{df}{dy}, \quad (15)$$

and for the implicit scheme:

$$q = \frac{1}{1 - h \frac{df}{dy}}, \quad (16)$$

where f is the right side of Eq. (5).

The stability condition for (15) has meaning at $h < -\frac{2}{df/dy}$. Then under the most severe conditions ($y = 1$) we can write the estimate of the mesh width restriction:

$$h < \frac{2}{(F - \alpha - 1)f + \alpha \frac{dB(T)}{dy} + \frac{\beta K p I_c^0}{4\pi}}, \quad (17)$$

where F is the scattering functional of the first term of Eq. (7), for which the equality

$$\frac{1}{2} \int_{-1}^1 \rho I d\gamma = FI(y) \quad (18)$$

holds.

The stability conditions for the implicit scheme (16) are provided at any $h > 0$ if the derivative of the right side of Eq. (5) is negative:

$$\frac{df}{dy} < 0. \quad (19)$$

This condition is very mild: as for the physical nature of the radiation propagation in the PET medium, f is a decreasing function, its derivative is negative, i.e., the implicit scheme always provides stability.

Probably, the explicit scheme will restrict the computational mesh width by the stability condition (17), and the implicit scheme will restrict it by the accuracy conditions

$$\zeta \geq \frac{h_m}{h_m + h_{m+1}} \frac{1}{(I_{m+1} - I_m) - \frac{h_m}{h_{m-1}} (I_m - I_{m-1})}, \quad (20)$$

where ζ is the determined accuracy and m is the number of the next attempt to recalculate the field I . In this case, the restriction on the computational mesh width at attempt $(m + 1)$ looks as follows:

$$h_{m+1} \leq \frac{1}{\zeta \left(\frac{I_{m+1} - I_m}{h_m} - \frac{I_m - I_{m-1}}{h_m} \right)}. \quad (21)$$

Checking whether condition (21) is fulfilled in all nodes of the computational mesh and recomputing the mesh width h require a rather large number of computational acts. If we take into account condition (19), then it will be apparent that the most stringent requirement for the mesh width will take place near the surface $y = 0$. Thus, the mesh width should be recalculated only in the beginning of the field I calculation. It is easy to estimate the machine time expenditure needed for obtaining the results of the calculation.

The number of iterations performed in the calculation by dependence (13) can be determined in the following way:

$$N = n + \varepsilon n, \quad (22)$$

where n gives the number of mesh nodes of the computational domain, and ε is the coefficient taking into account the features of the algorithmization, the necessary accuracy of the calculation, and the success of choosing the initial approximation for the iteration procedure. The execution time of one iteration run can be estimated by the following relation:

$$\tau_1 = \frac{\tau_{100}}{100} n, \quad (23)$$

where τ_{100} is the execution time of iterations measured on $n = 100$ nodes of the computational domain.

The total time of iteration calculations will be the product of the values determined by (22) and (23):

$$\tau = \frac{\tau_{100}}{100} (1 + \varepsilon) n^2. \quad (24)$$

From Eq. (24) it is seen that the waiting time for the results of calculations increases proportionally with the square of the number of nodes of the computational domain. Practical calculations by dependence (13) with fulfilled condition (19) ($\zeta = 10^{-5}$) gave the following values: $\tau_{100} = 0.96$ s, the value of ε practically had no influence on the number of iterations and was assumed to be equal to 0.01. The time estimates coincided to an accuracy of up to 2% for the number of nodes of the computational domain from 100 to 1000.

It should be noted that in using the same computational resources for a computational domain, the number of whose nodes exceeds 1000, one would have to wait for more than two hours for the results of the calculation, and if the number of nodes exceeds 3000, then the waiting time will exceed 24 hours.

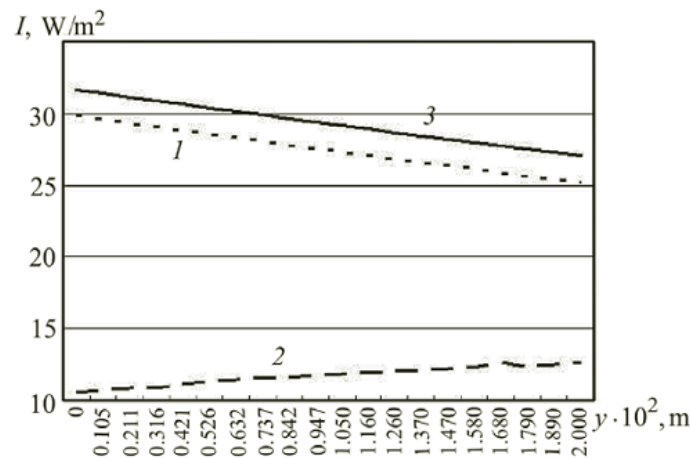


Fig. 3. Results of the calculation of the radiation field of the PET specimen for the range of wavelengths from 1.1 to 1.4 μm at $K = 9.2 \text{ cm}^{-1}$; $l = 20 \text{ mm}$; $\alpha = 0.26$; $\beta = 0.2$, $\varphi = 0$: 1) forward pass; 2) inverted pass (scale of 10:1); 3) total radiation intensity.

Figure 3 presents, as an example, the results of the calculation of the radiation field for the range of wavelengths from 1.1 to 1.4 μm formed in the PET specimen at the following data: $K = 9.2 \text{ m}^{-1}$, $l = 20 \text{ mm}$, $\alpha = 0.26$, $\beta = 0.2$. For illustration, we consider hypothetical conditions where the external radiation sources are active only on one side of the specimen, and $\varphi = 0$ thereby.

The calculation results for the forward pass of the radiation were plotted on the basis of dependences (1)–(9) and (13). The total radiation intensity was determined in accordance with formula (11). The results of the inverted counting for the reflected radiation were obtained for the first backward pass of the reflected radiation. These values were drawn on a scale of 10:1 for clarity in visualization. It can be noted that the contribution of the first backward pass of the radiation to the total radiation field of the PET specimen accounts for no more than 3%. Therefore, in performing engineering calculations, it is no longer necessary to carry out calculations of the second and subsequent inverted passes.

Thus, the proposed approach offers a means of making quick engineering estimates of the radiation field in the PET medium realized under the action of the collimated and the noncollimated technological heat sources. It is easy to estimate thereby the machine time expenditure needed to obtain the result. The obtained results of calculations of the radiation field can be used for subsequent investigations, for example, of the temperature fields on the basis of the analysis of the energy equation.

NOTATION

A_1, B_1, A_2 , and B_2 , coefficients of the scattering indicatrix; $B(T)$, Planck function; $c = 299,792,458 \text{ m/s}$, velocity of light; F , scattering functional of the first term of Eq. (7) (introduced for generalization); h , computational mesh width; I, I_c , noncollimated and collimated radiation intensities, W/m^2 ; I_0 , external noncollimated radiation intensity, W/m^2 ; I_c^0 , collimated radiation intensity acting on the surface at the angle of incidence φ_0 , W/m^2 ; I , integral value of the radiation intensity, W/m^2 ; I^Σ , radiation intensity as a sum the noncollimated and collimated components, W/m^2 ; I^+ and I^- , radiation intensities acting in the forward and backward directions, W/m^2 ; i , number of the computational mesh node; J , term taking into account the scattering from the collimated and noncollimated components of the radiation, W/m^3 ; j , number of the iteration run on the y coordinate; K , absorption coefficient, m^{-1} ; $k = 1.3806488 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, Boltzmann constant; l , penetration depth of the radiation, m ; m , number of the next attempt of field I recalculation; N , total number of interactions; n , number of mesh nodes of the computational domain; n_0 , relative refractive index; $p = p(\gamma)$, scattering indicatrix; y , coordinate, m ; α , absorption coefficient; β , scattering coefficient; γ , cosine of the angle between the direction of the y axis and the direction of radiation propagation, rad ; ε , coefficient taking into account the features of the algorithmization, the required accuracy of calculations, and the success of choosing the initial approximation for the iteration procedure; ζ , established accuracy of iteration calculations; ρ_0 , reflection coefficient; ν , radiation frequency, Hz ; τ , total time of iteration calculations, s ; τ_1 , execu-

tion time of one iteration run, s; τ_{100} , execution time of iterations measured on 100 nodes of the computational domain; φ and φ_0 , angles between the normal to the surface and the direction of the radiation flow inside and outside the PET medium, rad; ω , attenuation coefficient; $\hbar = 1.054571800 \cdot 10^{-34}$ J·s, Planck constant.

REFERENCES

1. N. A. Rubtsov and S. D. Sleptsov, Analysis of the properties of thermal radiation from axisymmetric semitransparent systems with permeable boundaries, *Teplofiz. Aeromekh.*, **15**, No. 4, 711–719 (2008).
2. A. M. Timofeev, Radiation heating of the semitransparent medium, *Vestn. CVFU*, **9**, No. 3, 34–38 (2012).
3. M. I. Ozisik, *Complex Heat Transfer* [Russian translation], Mir, Moscow (1976).
4. N. A. Rubtsov and N. A. Savvinova, Effect of the radiation scattering on the melting and solidification of a flat layer of the semitransparent medium, *Prikl. Mekh. Tekh. Fiz.*, **42**, No. 6, 98–105 (2001).
5. L. V. Labunets and A. V. Popov, Mathematical simulation of the spectral coefficient indicatrix of directional thermal radiation from the coatings of bodies under location, *Vestn. MGTU im. N. É. Baumana, Ser. "Priborostroenie"*, No. 2, 50–61 (2009).

4. Francis Thibault. Polymer Engineering and Science (Impact Factor: 1.52). – 03/2007. – 47(3). – 87 pp.
5. Luo, Y.M., Chevalier, L., Utheza, F. Proceedings of the ASME 2012 11th Biennial Conference On Engineering Systems Design And Analysis, Nantes, France, 2–4 July, 2012.
6. Бахвалов Н. С. Численные методы: учеб. пос. для студ. / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М. : Лаборатория знаний, 2003. – 632 с
7. <https://www.simscale.com/>

Надійшла до редакції 23.08.2016

Poghorilyj O. V., Sidorov D. E., Kolosov O. Ye., Kazak I. O.

ZONED ANALYSIS TEMPERATURE WHEN HEATING OF PET-PREFORMS

The analysis of the temperature conditions at the time of molding of articles PET-preforms in three characteristic zones, taking into account convection heating. The temperature distribution along the length of PET preforms calculated using the interpolation method piecewise cubic polynomials. The change in time of the temperature in each zone of PET-preforms was investigated. It is shown that temperatures vary over time exponentially, and the heating occurs in all areas of the PET-preform uniformly to the critical temperature. Shows the variation of temperature for the three layers: the outer surface, of the core layer and the inner surface of the PET-preforms

Keywords: PET-preform, convection, temperature regimes, molding, economic function.

References

1. Sidorov, D., Kolosov, O., Poghorilyj, O., Gurieva, A. (11–12 June, 2015). Analysis of temperature regimes of formation of pet products. All-Ukrainian scientific-practical conference Effective processes and equipment of chemical production and packaging technology. Proc. Theses extra. Kiev, P. 82–83.
2. Ling-Ying Pan, Mao-Sheng Zhan, Kai Wang. (1996). Journal: Polymer Engineering and Science – POLYM ENG SCI. No. 36. 138 pp.
3. Yun Mei Luo, Luc Chevalier, Françoise Utheza and Xavier Nicolas (May 2014). Simplified Modelling of the Infrared Heating Involving the Air Convection Effect before the Injection Stretch Blowing Moulding of PET Preform Material Forming ESAFORM 2014, Espoo, Finland. Jari Larkiola, 611–612, pp. 844–851, Key Engineering Materials. <10.4028/www.scientific.net/KEM.611-612.844>. <hal-01077292>
4. Francis Thibault (03/2007). Polymer Engineering and Science (Impact Factor: 1.52). 47(3). 87 pp.
5. Luo, Y.M., Chevalier, L., Utheza, F. (2–4 July, 2012). Proceedings of the ASME 2012 11th Biennial Conference On Engineering Systems Design And Analysis, Nantes, France.
6. Bakhvalov, N.S., Zhydkov, N.P., Kobeljokov, Gh.M. (2003). Numerical methods: studies. pos. for students. Moscow. Knowledge Laboratory. 632 p.
7. https://www.simscale.com

УДК 678.025.2

СІДОРОВ Д. Е., к.т.н., доц.; КОЛОСОВ О. Є., д.т.н., проф.; ГУР'ЄВА А. О.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕТ-ВИРОБІВ У ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ

Запропоновано методику оперативного оцінювання геометричних параметрів ПЕТ-виробу у процесі його формування з ПЕТ-преформи. Виконано аналіз процесу виготовлення ПЕТ-пляшок ємністю 1 л і 0,5 л. Складені залежності для визначення ступеня витягування та товщини стінки на всіх фазах і етапах виготовлення ПЕТ-пляшки.

Ключові слова: преформа, ПЕТ-вироби, ступінь витягування, формування

© Сідоров Д. Е., Колосов О. Є., Гур'єва А. О., 2017.

Постановка проблеми. У звичайній високошвидкісній ротаційній машині для виробництва пляшок з поліетилентерефталату (ПЕТ) розігріті в камері нагріву ПЕТ-преформи протягом певного часу залишаються

для вирівнювання температури, а потім подаються у відкриті форми для формування пляшок. Як тільки форма закривається, ПЕТ-преформа механічно витягується за допомогою дорна. Далі виконується технологічна фаза видування, що проходить при високому внутрішньому тиску, в ході якої пляшка набуває остаточного вигляду. Дорн виймається, пляшка охолоджується, після чого форма відкривається і готову пляшку вивантажують на транспортер або у бункер-накопичувач. Таким чином, інтерес представляє оперативна оцінка параметрів ПЕТ-виробу на всіх етапах процесу його формування з ПЕТ-преформи.

Аналіз останніх досліджень. Технологічна фаза нагрівання з використанням інфрачервоних нагрівачів описана у роботі [1]. Використання методу роздуву для отримання полімерної гофри з поліолефінів та основи моделювання процесу роздуву викладено у роботах [2, 3]. В цих роботах застосовано методи численного інтегрування диференціальних рівнянь, які вимагають виконання ресурсоемних комп'ютеризованих розрахунків. Крім того, фази та етапи формування ПЕТ-виробів суттєво відрізняються від етапів екструзійного формування гофрованих трубних виробів з поліолефінів.

Метою даної роботи є розробка методики оперативного оцінювання геометричних параметрів ПЕТ-виробу при його формуванні з ПЕТ-преформи.

Виклад основного матеріалу. Користуючись підходом, який запропонований у роботі [3], складемо рівняння, що відображають збереження об'ємів матеріалу ПЕТ-преформи і ПЕТ-виробу на всіх етапах процесу формування.

ПЕТ-преформа має форму полого циліндру із сферичним донцем. Розігріта ПЕТ-преформа на першій фазі формування витягується дорном. При цьому, товщина стінки зменшується пропорційно подовженню заготовки. Об'єм ПЕТ-преформи до початку процесу витягування визначається наступним чином:

$$V_0 = R_0 l_0 \delta_0 + 2\pi R_0^2 \delta_0, \quad (1)$$

де R_0 – серединний радіус стінки ПЕТ-преформи до деформування; l_0 – початкова довжина циліндричної частини ПЕТ-преформи; δ_0 – початкова товщина стінки ПЕТ-преформи.

Об'єм ПЕТ-заготовки після першої фази формування – витягування дорном становить:

$$V_1 = R_0 l_1 \delta_1 + 2\pi R_0^2 \delta_1, \quad (2)$$

де $l_1 = l_0 + \Delta l_1$; Δl_1 – подовження ПЕТ-заготовки після першої фази формування, яка відповідає переміщенню дорна; δ_1 – товщина стінки ПЕТ-заготовки після першої фази формування.

Виходячи з рівнянь (1) і (2), товщина ПЕТ-заготовки після першої фази формування буде визначатися наступним рівнянням:

$$\delta_1 = \delta_0 \frac{l_0 + 2\pi R_0}{l_1 + 2\pi R_0}. \quad (3)$$

Ступень витягування після першої фази формування:

$$\lambda_1 = \frac{\delta_0}{\delta_1}, \quad (4)$$

може бути записана через вихідні параметри наступним чином:

$$\lambda_1 = 1 + \frac{\Delta l_1}{l_0 + 2\pi R_0}. \quad (5)$$

Друга фаза – фаза роздуву ПЕТ-заготовки. На цій фазі деформування ПЕТ-заготовки відбувається одночасно у всіх напрямках. Але, умовно його можливо поділити на два етапи: подовжнє – осьове деформування і поперечне – радіальне деформування.

Крім того, оскільки форма ПЕТ-виробу може бути складною, то цій процес слід розглядати для кожної характерної ділянки формоутворення кінцевого ПЕТ-виробу.

Зміна довжини ПЕТ-заготовки на другій фазі формування відповідає за фізичною сутністю зміні довжини на першій фазі формування. Таким чином, рівняння (3) – (5) для цього випадку можуть бути записані у наступному вигляді:

$$\delta_2 = \delta_1 \frac{l_1 + 2\pi R_0}{l_2 + 2\pi R_0}, \quad (6)$$

$$\lambda_2 = \frac{\delta_1}{\delta_2}, \quad (7)$$

$$\lambda_2 = 1 + \frac{\Delta l_2}{l_0 + \Delta l_1 + 2\pi R_0}, \quad (8)$$

де $l_2 = l_1 + \Delta l_2$; Δl_2 – подовження ділянки ПЕТ-заготівки після другої фази формування; δ_2 – товщина стінки ділянки ПЕТ-заготівки після першого етапу другої фази формування.

Для другого етапу другої фази формування ПЕТ-заготівки врахуємо радіальну складову деформування. Рівняння (2) для цього випадку прийме наступний вигляд:

$$V_3 = R l_2 \delta_3 + 2\pi R^2 \delta_3 \quad (9)$$

де $R = R_0 + \Delta R$; ΔR – зміна радіусу ділянки ПЕТ-заготівки після другої фази формування; δ_3 – товщина стінки ділянки ПЕТ-заготівки після другої фази формування, яка відповідає товщині кінцевого ПЕТ-виробу.

Рівняння, аналогічні (6), (7), (8), для ступеню витягування λ_3 та товщини стінки δ_3 ділянки ПЕТ-виробу в цьому випадку приводять до наступних виразів:

$$\delta_3 = \delta_2 \frac{R_0}{R} \frac{l_2 + 2\pi R_0}{l_2 + 2\pi R}, \quad (9)$$

$$\lambda_3 = \frac{\delta_2}{\delta_3}, \quad (10)$$

$$\lambda_3 = \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0}\right) \left(1 + \frac{2\pi \Delta R}{l_2 + 2\pi R_0}\right). \quad (11)$$

Залежності (9), (10), (11) характеризують зміну товщини ділянки ПЕТ-заготівки тільки на умовному етапі її радіального деформування.

Загальна ступень витягування λ та товщина стінки δ ділянки ПЕТ-виробу після формування будуть визначатися за наступними залежностями:

$$\delta = \delta_0 \frac{R_0}{R_0 + \Delta R} \frac{l_0 + 2\pi R_0}{l_0 + \Delta l_1 + \Delta l_2 + 2\pi(R_0 + \Delta R)}, \quad (12)$$

$$\lambda = \frac{\delta_0}{\delta}, \quad (13)$$

$$\lambda = \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0}\right) \left(1 + \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2 + 2\pi \Delta R}{l_0 + 2\pi R_0}\right). \quad (14)$$



Рис. 1 – ПЕТ-преформа та пляшка 0,5 л

Порівняння розрахункових і експериментальних даних виконаємо на прикладі формування пляшок ємністю 0,5 і 1 л з ПЕТ-преформ, загальною масою 20,71 г (рис. 1) та 32,23 г відповідно. Саме циліндрична частина, яка є основною частиною виробу, має найменшу, критичну товщину стінки. Для виконання розрахунків прийняті дані, що були отримані вимірюванням геометричних розмірів у циліндричній зоні преформи і виробу за допомогою цифрового вимірювального пристрою Sigma digital caliper, який забезпечував вимірювання з роздільною здатністю до другого знаку після коми, з точністю $\pm 0,02$ мм, похибка вимірювань складала біля 1 %.

Вимірювання виконувалися на відібраних характерних зразках без будь-яких дефектів.

Було відібрано по 10 ПЕТ-виробів, та виконано по 4 серії вимірювань в різних точках перетину. За експериментальні результати прийняті середні по 40-а точкам вимірювання значення. Значення середнього радіусу отримано наступним перерахунком:

$$R_0 = \frac{D_0 - \delta_0}{2}; \quad R = \frac{D - \delta}{2}; \quad (15)$$

де D_0 , D – зовнішні діаметри ПЕТ-преформи і кінцевого виробу, відповідно.

Для ПЕТ-преформи 32,23 г (пляшка 1 л) отримані дані: $D_0 = 26,35$ мм; $\delta_0 = 2,76$ мм; $R_0 = 11,795$ мм; $l_0 = 74,66$ мм; $D = 81,16$ мм; $\delta = 0,29$ мм; $R = 40,435$ мм; $l = 158,31$ мм; $\Delta l_1 = 45$ мм; $\Delta l_2 = 38,65$ мм; $\Delta R = 27,99$ мм.

Для ПЕТ-преформи 20,71 г (пляшка 0,5 л) отримані дані: $D_0 = 22,39$ мм; $\delta_0 = 3,03$ мм; $R_0 = 9,68$ мм; $l_0 = 37,89$ мм; $D = 64,96$ мм; $\delta = 0,24$ мм; $R = 32,36$ мм; $l = 124,09$ мм; $\Delta l_1 = 45$ мм; $\Delta l_2 = 41,2$ мм; $\Delta R = 22,68$ мм.

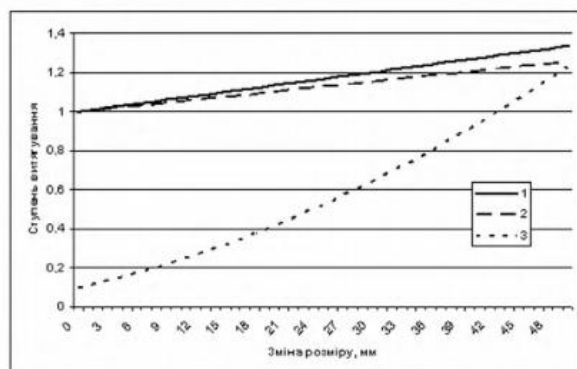
Розраховані та експериментальні значення порівнюються в табл. 1. Наведені в результаті відносяться до середньої ділянки ПЕТ-виробу.

Таблиця 1

№	Показник	Експеримент		Розрахунок		Похибка, %	
1	преформа (пляшка)	32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)	32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)	32,23 г (1 л)	32,23 г (0,5 л)
2	δ , мм	0,29	0,24	0,297	0,268	2,41	11,7
3	λ_1	-	-	1,3	1,5	-	-
4	λ_2	-	-	1,2	1,23	-	-
5	λ_3	-	-	5,92	6,1	-	-
6	A	9,52	12,63	9,29	11,3	2,42	10,5

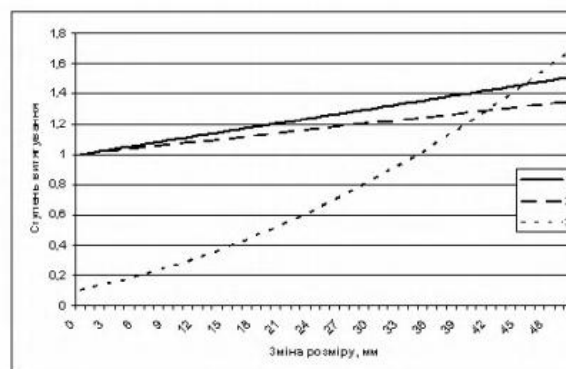
Як видно з даних табл. 1, максимальна похибка розрахунків відносно експерименту складає 11,7 % і є допустимою. Цікаво, що для ПЕТ-виробу малого типорозміру отримані похибки значно більші, ніж для ПЕТ-виробу більшого типорозміру. Таким чином, слід очікувати, що для ПЕТ-пляшок ємністю більше за 1 л, похибки розрахунків будуть досить малі.

Виконаємо аналіз етапів процесу формування ПЕТ-виробу. На рис. 2 та 3 наведено графіки залежності ступеня витягування від зміни розмірів ПЕТ-заготівки на всіх етапах процесу формування пляшок ємністю 1 л та 0,5 л, відповідно. Для наочності діаграм, графіки залежності ступеню деформування від зміни радіусу ПЕТ-заготівки масштабовані 1:10. Рис. 2 і рис.3 дають уяву про вклад кожного фактору процесу деформування ПЕТ-заготівки. Можна відмітити, що осьове деформування ПЕТ-заготівки у реальних технологічних режимах не суттєво впливає на ступень деформування. Так, для пляшки ємністю 1 л при реалізованих у технологічному процесі параметрах $\Delta l_1 = 45$ мм, $\Delta l_2 = 38,65$ мм, ступень витягування складає $\lambda_1 = 1,32$ і $\lambda_2 = 1,76$, відповідно. Аналогічно, для пляшки ємністю 0,5 л при $\Delta l_1 = 45$ мм, $\Delta l_2 = 41,2$ мм отримано ступень витягування $\lambda_1 = 1,46$ і $\lambda_2 = 1,27$, відповідно. Таки величини ступеня витягування не можна вважати значними. Проте, радіальна складова деформування ΔR , яка складала для пляшки ємністю 1 л – 27,99 мм, а для пляшки 0,5 л – 22,68 мм, вносить дуже суттєвий вклад: ступень витягування в цьому випадку становить 5,92 і 6,05, відповідно. Таким чином, радіальна складова деформування у процесі формування ПЕТ-виробу у 4 – 5 разів більш суттєва ніж осьова



1 – перша фаза – витягування дорном; 2 – друга фаза – осьова складова деформування; 3 – друга фаза – радіальна складова деформування (масштабоване 1:10).

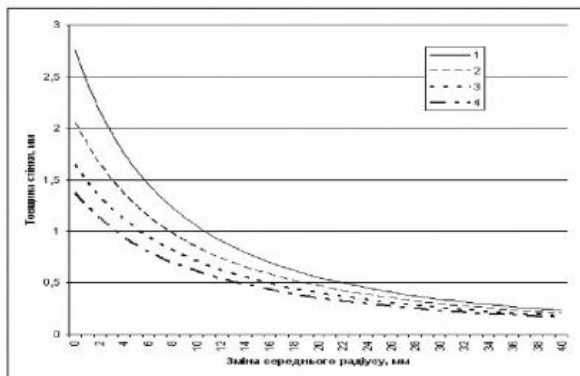
Рис. 2 – Залежність ступеня витягування від зміни розмірів ПЕТ-заготівки для пляшки ємністю 1 л



1 – перша фаза – витягування дорном; 2 – друга фаза – осьова складова деформування; 3 – друга фаза – радіальна складова деформування (масштабоване 1:10).

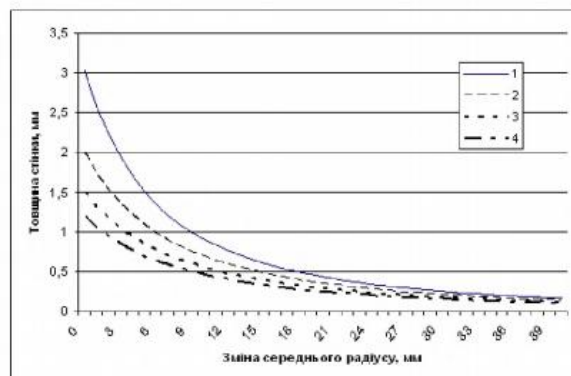
Рис. 3 – Залежність ступеня витягування від зміни розмірів ПЕТ-заготівки для пляшки ємністю 0,5 л

Оскільки встановлено, що вплив радіальної складової деформування ПЕТ-заготівки є вирішальним, то проаналізуємо її вплив на товщину отриманого ПЕТ-виробу. На рис. 4 і рис. 5 наведено графічні залежності товщини стінки ПЕТ-пляшки 1 л і 0,5 л відповідно, від зміни середнього радіусу ПЕТ-виробу у процесі формування. Деформування в осьовому напрямі $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2$ вважається здійсненим. На графіках це безпосередньо відображається на початкових значеннях товщини стінки ПЕТ-виробу.



1 – $\Delta l = 0$ мм; 2 – $\Delta l = 50$ мм; 3 – $\Delta l = 100$ мм;
4 – $\Delta l = 150$ мм.

Рис. 4 – Залежність товщини стінки ПЕТ-пляшки ємністю 1 л від зміни середнього радіусу



1 – $\Delta l = 0$ мм; 2 – $\Delta l = 50$ мм; 3 – $\Delta l = 100$ мм;
4 – $\Delta l = 150$ мм.

Рис. 5 – Залежність товщини стінки ПЕТ-пляшки ємністю 0,5 л від зміни середнього радіусу

Зона мінімальної товщини ПЕТ-виробу розташована у центральній циліндричній частині ПЕТ-пляшки. Для достатніх механічних властивостей ПЕТ-пляшки, вона повинна мати мінімальну товщину стінки не менш ніж 0,2 мм. Як видно з наведених графіків, така товщина стінки досягається при значеннях ΔR , що дорівнюють приблизно 40 мм. Технологічно, такі значення ΔR не досягаються.

На графіках рис. 4 і рис. 5, найбільш цікавою з точки зору реалізації технологічного процесу є зона між кривими 2 ($\Delta l = 50$ мм) і 3 ($\Delta l = 100$ мм). Саме в таких режимах формуються пляшки найбільш використовуваних типорозмірів від 0,5 л до 2 л. Як видно з графіків, в цьому діапазоні типорозмірів слід очікувати зменшення товщини стінки ПЕТ-заготівки за рахунок радіальної складової деформування від приблизно 1,5–2 мм до приблизно 0,25–0,3 мм. Лише біля 15 % зменшення товщини стінки буде здійснено за рахунок сумарного осьового деформування Δl . Товщина стінки ПЕТ-виробу стрімко зменшується при збільшенні ΔR .

Якщо початкова товщина стінки ПЕТ-преформи для виготовлення ємності 1 л на 10 % менше за товщину ПЕТ-преформи для виготовлення ємності 0,5 л, то при наведених вище параметрах ПЕТ-преформ, за умовно прийнятих по графікам $\Delta l = 100$ мм і $\Delta R = 25$ мм, кінцева товщина стінки ПЕТ-пляшок ємністю 1 л буде на 14 % більше ніж товщина стінки ПЕТ-пляшок ємністю 0,5 л.

Таким чином, наведені дані можуть бути використані як для аналізу існуючих технологічних процесів виготовлення ПЕТ-виробів, так і для проектування нових.

Висновки. Розроблено методику оперативного оцінювання геометричних параметрів ПЕТ-виробу у процесі його формування з ПЕТ-преформи. Методика апробована на прикладі виготовлення ПЕТ-пляшок ємністю 1 л і 0,5 л. Надані залежності для визначення ступеня витягування та товщини стінки на всіх фазах і етапах виготовлення ПЕТ-пляшки. Методика може бути використана як для аналізу існуючих технологічних процесів, так і для розробки нових виробів і технологій до них.

Список використаної літератури

1. Сідоров Д. Е Аналіз температурних режимів формування ПЕТ-виробів / Д. Е. Сідоров, О. Є. Колосов, О. В. Погорілий, А. О. Гур'єва. // Збірник доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – С. 82–83.
2. Сахаров А. С. Исследование процесса формирования профиля гофры при производстве гофрированных трубных изделий. / Д. Э. Сидоров, В. И. Сивецкий, А. Е. Колосов, А. С. Сахаров // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 6. – С. 39–43.

3. Сахаров А. С. Аспекты формирования профилей гофрированных трубных изделий. Часть 1. Моделирование параметров гофр разного профиля, а также формующего их оборудования / Д. Э. Сидоров, В. И. Сивецкий, А. Е. Колосов, А. С. Сахаров // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 44–48.

Надійшла до редакції 26.10.2016

Sidorov D. E., Kolosov A. E., Gurieva A. A.

ASSESSMENT OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF PET PRODUCTS IN THE PROCESS OF FORMATION

In a rotating machine for the production of bottles from polyethylene terephthalate (PET) heating chamber heated PET preforms remain for some time to equalize temperature and then fed into molds to form bottles. PET preform mechanically extracted using Dorn. Further implemented technological blowing phase, during which the bottle becomes final appearance.

The aim of this work is to develop methods of rapid assessment of geometric parameters pet product during its formation PET preforms.

The paper presents equations apply, reflecting preservation quantities of PET preforms and PET products at all stages of formation. Thus obtained depending on wall thickness and degree of stretching of the material in PET product. PET preform reheat in the first phase of the formation pulled Dorn. The second phase – the phase of blew PET timber. In this phase PET timber deformation takes place simultaneously in all directions. But it may conditionally divided into two stages: longitudinal - axial and transverse deformation - radial deformation. In addition, as a form of pet products can be complicated, the process that should be considered for each characteristic areas forming the final PET product. For the second stage of the second phase of forming PET blanks counted radial component deformation.

Comparison of the calculated and experimental data, perform the example of forming bottles 0.5 and 1 liter PET preforms, a total weight of 20.71 grams and 32.23 grams, respectively. It cylindrical part, which is the main part of the product, the lowest, the critical wall thickness. Measurements were performed on selected samples characteristic without any defects. A sample of 10 pet products, and completed 4 series of measurements at various points of intersection. The experimental results accepted average for the 40th points of measurement values. The calculated and experimental values are compared. The maximum relative error calculation experiment is 11.7 % and is acceptable.

The analysis of the stages of the formation of pet products. Shows the graph of the degree of stretching resizing PET timber at all stages of formation bottle capacity 1 liter and 0.5 liters., Respectively. Determining the contribution of each factor deformation process PET preform. Axial PET timber deformation in real technological modes do not significantly affect the degree of deformation. The radial component deformation makes a very significant contribution. The degree of stretching in this case is up to 6.05. Thus, the radial component of deformation in the process of pet products in 4–5 times more significant than axial. These graphics depending on wall thickness PET bottles of 1 liter and 0.5 liters of changes in the average range of PET products in the process of formation.

If the initial wall thickness of PET Preforms for containers 1 liter of 10 % less than the thickness of PET preforms for the production capacity of 0.5 liters, then the standard settings of PET preforms, the conventionally accepted on schedule deformation parameters, the final wall thickness PET bottles 1 liter capacity is 14 % greater than the wall thickness of PET bottles 0.5 liters.

Keywords: preform, PET products, degree of stretching, forming.

References

1. Sidorov, D.E. (2015). "Analysis of temperature conditions of formation of PET products" [Analiz temperaturnykh rezhymiv formuvannya PET-vyrobiv]. Proceedings of All-Ukrainian scientific-practical conference *Effective processes and chemical production equipment and packaging equipment* NTU "KPI", pp 82–83.
2. Sakharov, A. (2012). "Investigation of the process of forming the corrugated profile in the production of corrugated pipe products" [Issledovanie processa formovaniya profilya gofry pri proizvodstve gofrirovannyh trubnyh izdelij]. *Chemical and Petroleum Engineering*. No. 6. P. 39–43.
3. Sakharov, A. (2012). "Aspects of forming corrugated pipe sections". [Aspects molding corrugated pipe product profile]. Part 1. Modeling corrugation parameters in different fields, as well as the form of their equipment. *Chemical and Petroleum Engineering*. No. 1, pp 44–48.

УДК 678.057

Удосконалення прес-форми для лиття полімерів під тиском

Гур'єва А.О., магістр; Гур'єва Л.Н., асистент; Казак І.О., доц., к.п.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто один зі способів удосконалення прес-форми для процесу лиття полімерів під тиском з метою підвищення ефективності цього процесу. Удосконалення прес-форми полягає в додаванні перепускного ливникового каналу, що забезпечує необхідну якість процесу дроселювання розплаву полімеру та можливість проведення процесу дроселювання одночасно з процесом витримки під тиском виробу, що відливається. Запропонована прес-форма на відміну від вже існуючих дозволить підвищити продуктивність виробництва, якість та техніко-економічні показники готових виробів.

Дослідження процесу лиття полімерів під тиском є актуальним питанням для хімічних переробних виробництв на сьогоднішній день як в Україні так і у всьому світі, тому що завжди існує попит у споживачів цих виробництв на застосування якісних готових виробів із полімерних матеріалів. Тому науковці постійно розробляють та впроваджують нові технології на виробництвах виготовлення полімерів, які зможуть забезпечити підвищення ефективності процесу лиття під тиском полімерів та зменшення часу технологічного циклу вироблення полімерних матеріалів.

Лиття під тиском - один з найбільш популярних методів переробки пластмас, який полягає в заповненні оформлюваної площини форми через ливниковий канал розплавленим полімерним матеріалом з послідовним його ущільненням і фіксацією форми за рахунок охолодження. Переваги процесу лиття під тиском: висока продуктивність, якість поверхні; точні розміри литого виробу; мінімальна потреба в механічній обробці виробу; багаторазове використання ливарних форм. Недоліками процесу лиття під тиском є: обмежена складність конфігурації виливки; обмежена товщина виливки; висока вартість прес-форм, складність і тривалість їх виготовлення; невисока стійкість прес-форм, особливо при литті сплавів з високою температурою плавлення; невідповідність металевої форми, що сприяє появі напруг у виливках при охолодженні, тому сплави для лиття під тиском повинні мати вузький інтервал кристалізації [1].

Недоліками існуючих прес-форм для лиття під тиском полімерів є зазвичай розташування засобу дроселювання між перепускним та рециркуляційним ливниковими каналами, що не дозволяє в достатній мірі впливати на показники процесу дроселювання розплаву полімеру, не забезпечує можливості одночасного виконання технологічних процесів, таких як витримка під тиском виробу, що відливається та дроселювання. Окрім того, така конструкція прес-форми розрахована лише на одну формувальну порожнину, та потребує модифікації серійного промислового обладнання, внаслідок присутності в її складі рециркуляційного каналу [2].

Метою усунення зазначених недоліків існуючих прес-форм є вибір такої конструкції прес-форми для лиття полімерів під тиском, яка б забезпечувала економічний ефект від застосування даної конструкції прес-форми за рахунок більш високої продуктивності процесу лиття під тиском полімерів та підвищення якості готових виробів. Для цього проведено літературно-патентний огляд та обрано конструкцію прес-форми для лиття під тиском полімерів на основі прототипу [2].

Удосконалена конструкція прес-форми для лиття полімерів під тиском, яка представлена на рис. 1, містить: плити 1,2 з оформленими елементами для утворення формувальної порожнини, ливникову систему 3, яка обігривається, перепускний ливниковий канал 4, який з'єднує формувальну порожнину з засобом для дроселювання потоку полімеру 5 та датчик стану розплаву 7, що встановлений на виході з формувальної порожнини, та відрізняється тим від існуючих конструкцій прес-форм, що містить додатковий перепускний ливниковий канал 6, який утворює замкнене рециркуляційне коло із формувальною порожниною, перепускним

ливниковим каналом і засобом для дроселювання потоку полімеру, при цьому останній розташований у ливниковій системі [2]. Застосування додаткового перепускного ливникового каналу, який утворює замкнене рециркуляційне коло із формувальною порожниною, перепускним ливниковим каналом і засобом для дроселювання потоку полімеру, та розташування засобу дроселювання в зоні вприскування в ливниковій системі забезпечує необхідну якість процесу дроселювання розплаву полімеру, можливість проводити процес дроселювання одночасно з процесом витримки під тиском виробу, що відливається, а також можливе застосування даної конструкції в прес-формах з кількома формувальними порожнинами. Що і підвищує продуктивність виробництва і якість виробляемого продукту.

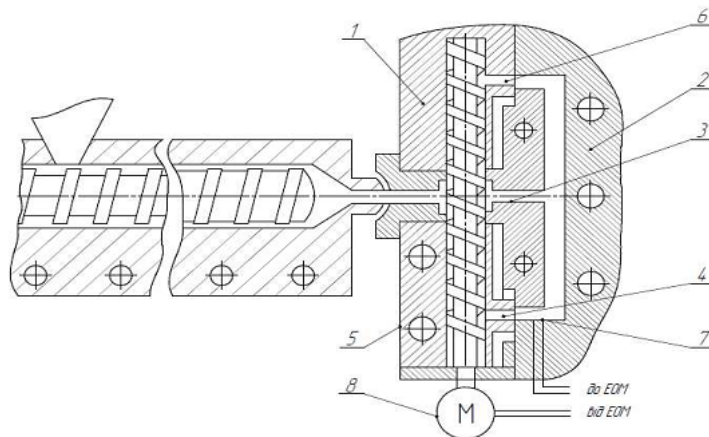


Рис. 1. Удосконалена прес-форма для лиття полімерів під тиском:

- 1, 2 – плити; 3 – ливникова система; 4 – ливниковий канал; 5 – засіб для дроселювання;
6 – додатковий перепускний ливниковий канал; 7 – датчик стану розплаву; 8 – виконавчий механізм з ЕОМ

Запропонована конструкція прес-форми для лиття під тиском полімерів дозволяє впливати на процес формування виробів, що відливаються, шляхом утворення пошарової орієнтації полімеру, забезпечує одночасне виконання процесу витримки під тиском виробу, що відливається, та процесу дроселювання, і може бути використана у прес-формах з кількома формувальними порожнинами, що допомагає скоротити час технологічного циклу та збільшити продуктивність виробництва готових виробів. Також дозволяє відмовитись від використання рециркуляційного ливникового каналу, який був присутній в інших аналогічних конструкціях, і значно ускладнював технологічний процес та призводив до необхідності значної модернізації серійного обладнання. Використання запропонованої конструкції прес-форми дає можливість суттєво покращити якість та техніко-економічні показники готових виробів, а також знизити технологічні витрати [2].

У роботі розглянута удосконалена прес-форма для лиття під тиском полімерів, в якій шляхом введення в ній перепускного ливникового каналу забезпечується одночасне виконання операцій дроселювання та витримки під тиском, можливість застосування кількох формувальних порожнин, що сприяє підвищенню продуктивності виробництва, якості та техніко-економічних показників готових виробів.

Література

1. Басов Н.И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов: учеб. для вузов / Н.И. Басов, Ю.В. Казанков, В.А. Любартович. – М.: Химия, 1986. – 488 с.
2. Патент 18318, Україна, МПК(2006) B29C 45/26. Прес-форма для лиття під тиском полімерів. / О. П. Бурмістенков, Б. М. Злотенко, П. М. Костенко - Опубл. 15.11.2006. - Бюл №11.